

情報科学研究科ゼミナール:

ESR(電子スピン共鳴)測定と高次情報処理 入門

◎ビタミンCとポーリング博士

◎ラジカルはどれだけラジカルか？

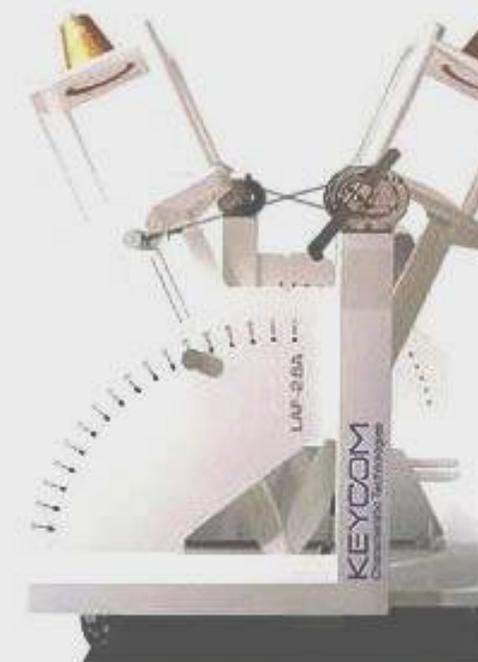
講師: 大矢博昭(キーコム(株)顧問)

日時: 2007年12月21日(金)4限(15:10~16:40、90分)

会場: 奈良先端大学大学院情報科学棟L1講義室

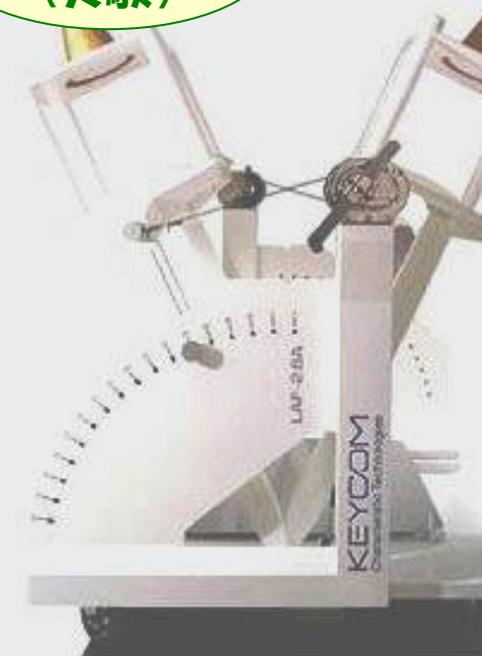
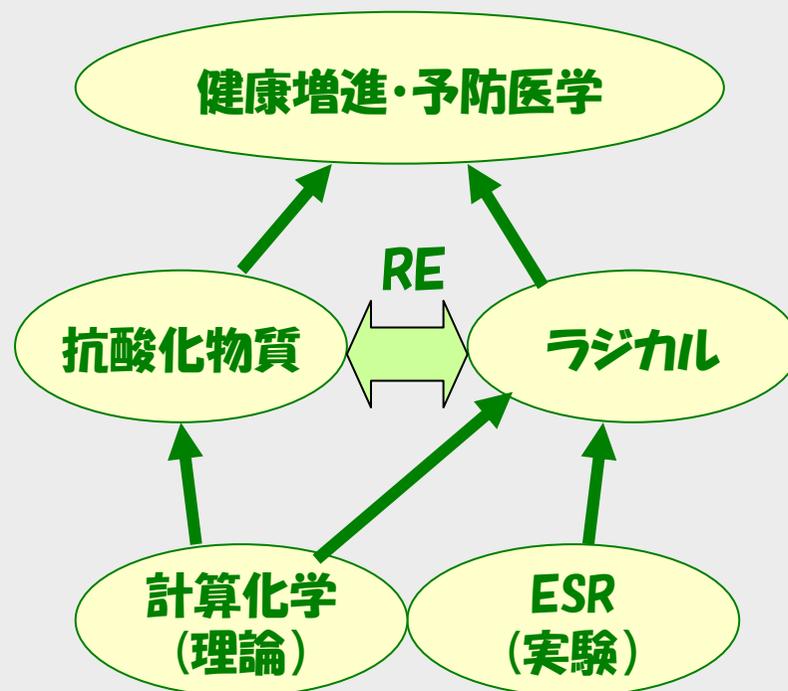
My blog:

http://bigarrow.de-blog.jp/keycom_kyoto/



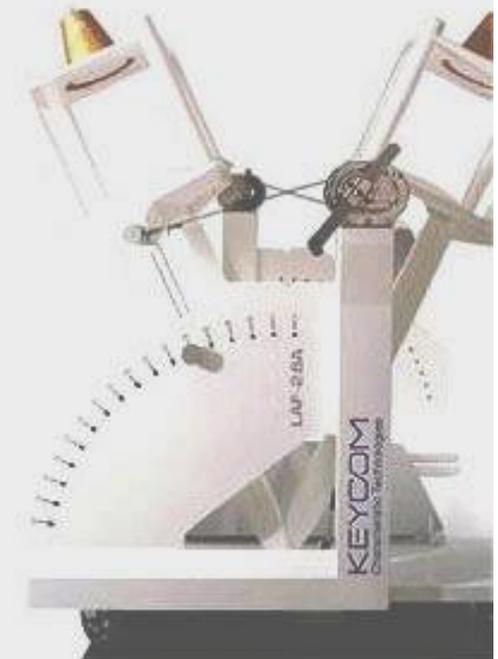
目次

1. 背景
2. ESRとは
3. ラジカルとは
4. 抗酸化物質(サプリ)とは
5. ラジカル化エネルギー(RE)
6. 分子軌道法MOPACと各種物理・化学情報との関係
7. 抗酸化物質・フラボノイドのRE
8. ESR測定法をもっと有効に！



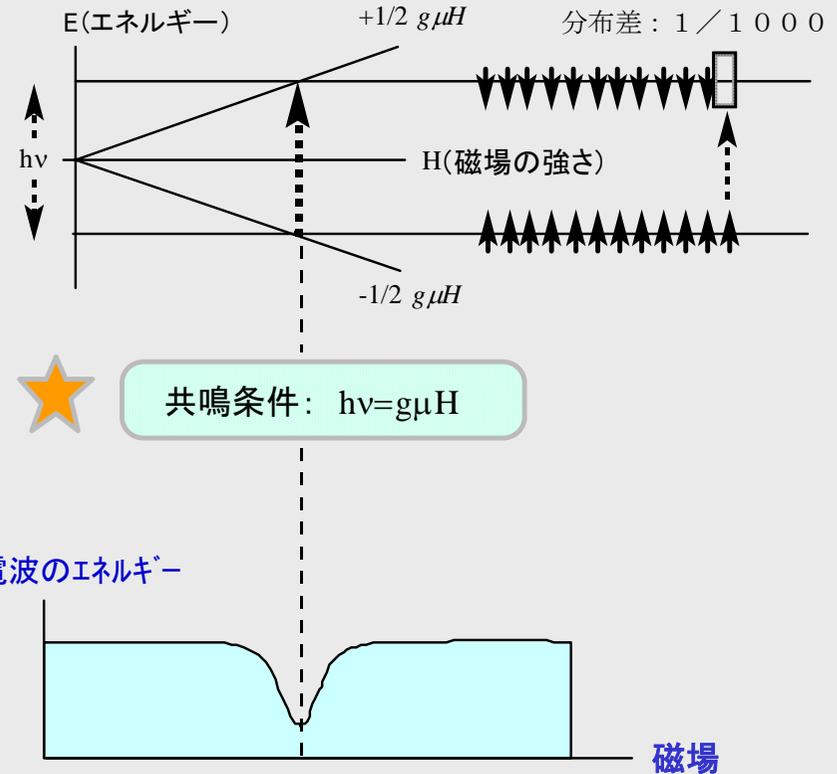
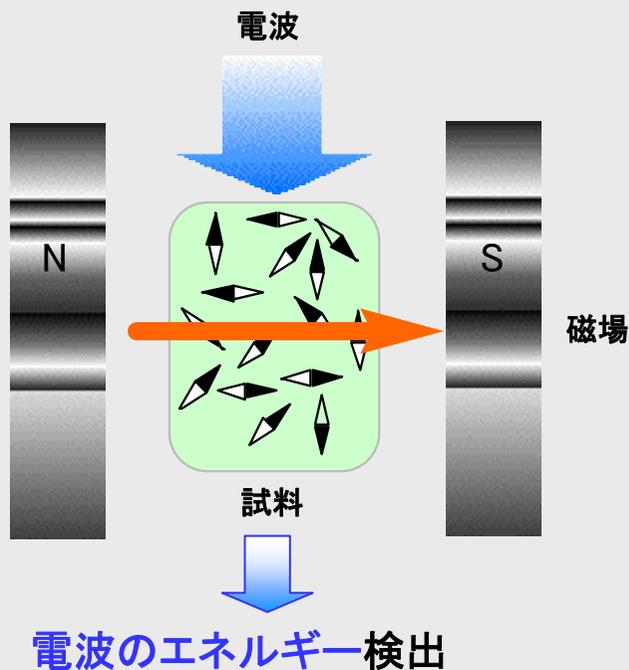
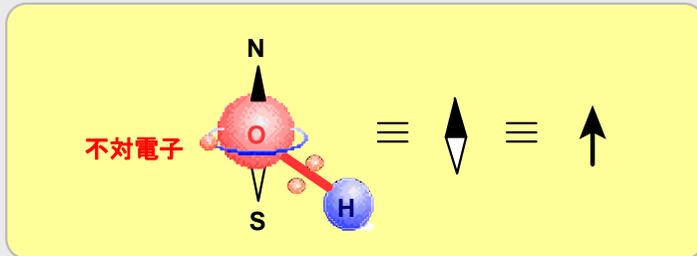
1 背景

- ◇ **病気の90%は活性酸素(生物ラジカル)が関与**
- ◇ **人口高齢化に伴う最近の健康食品ブーム
情報過多**
- ◇ **マスコミでのイメージは間違いだらけー
エセ科学が蔓延**
- ◇ **「活性酸素は悪玉」ではない！
情報伝達物質！**
- ◇ **求められる正しい情報
ー電子スピン共鳴(ESR)と分子軌道法ー**

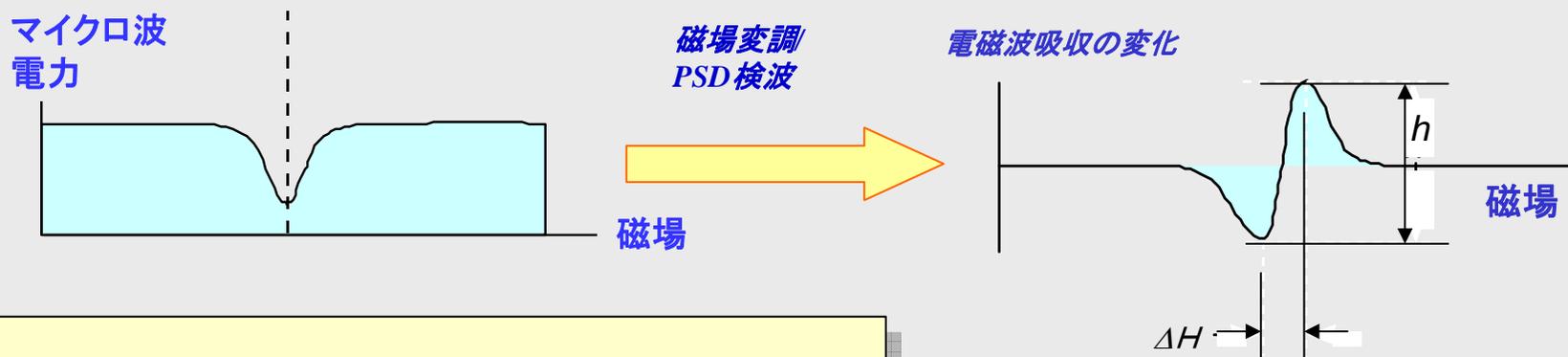


2 ESR(電子スピン共鳴)とは！

注) スピンとは電荷の自転(スピン)により生まれる磁化素量。
ラジカルは不対電子によるスピンを持つ。



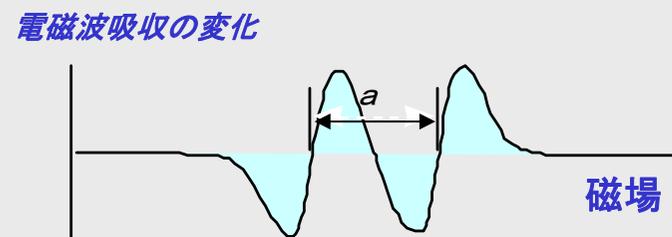
ESRとはII



ESRから得られるもの

1. 吸収位置を示す g 値 - 物質同定
2. 吸収の強度 (h) - 定量
3. 吸収の線幅 (ΔH) - 動き
4. スペクトルパターン(右図) - 物質同定
5. $a(H) \propto A \cdot \rho(0) \Leftrightarrow$ 分子軌道法

核スピン
($I=1/2$)

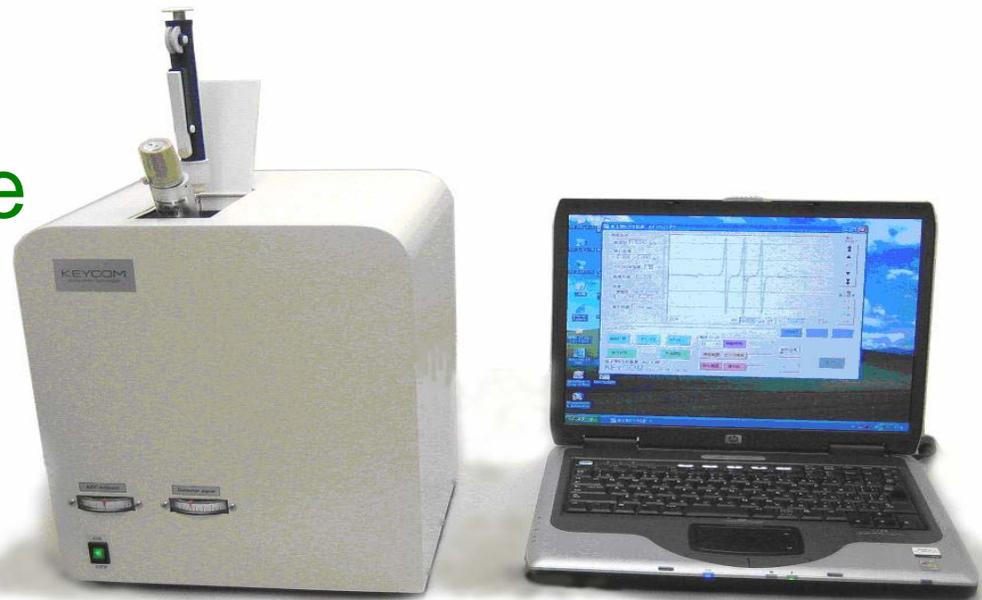


市販大型ESR装置



Keycom made 27 kg Transportable ESR X10S

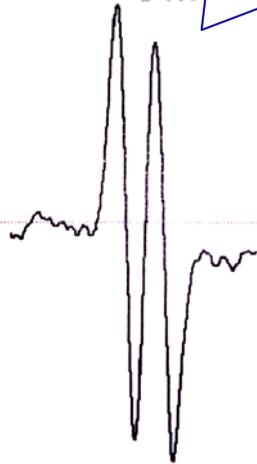
X10S



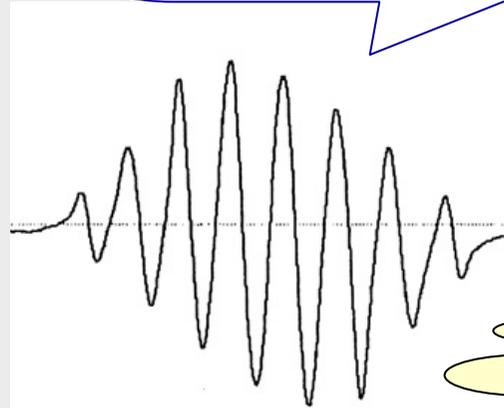
サプリ成分ラジカルの例

植物葉抽出液のESRスペクトル

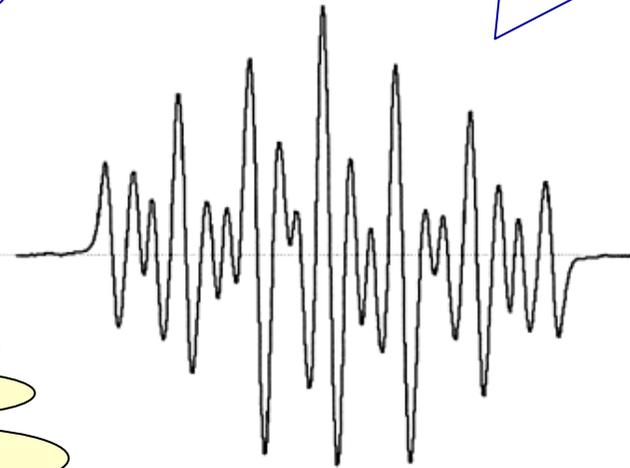
ガガイモ葉中のビタミンC(熱刺激後)



ヒメウコキ葉抽出液中のクロロゲン酸



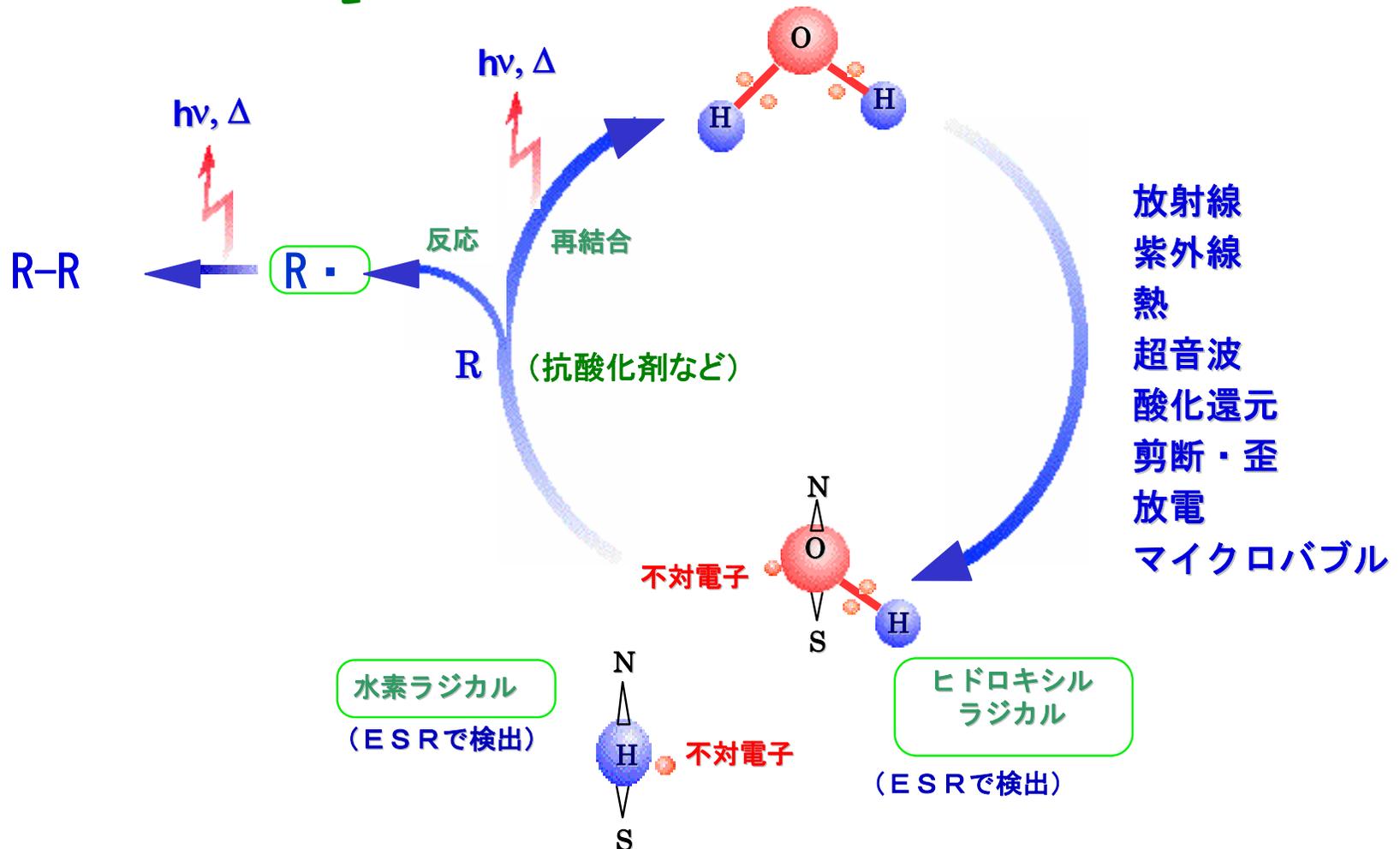
シソ葉抽出液中のロスマリン酸



サプリの主成分ラジカルは植物群固有のスペクトルパターンを示す!

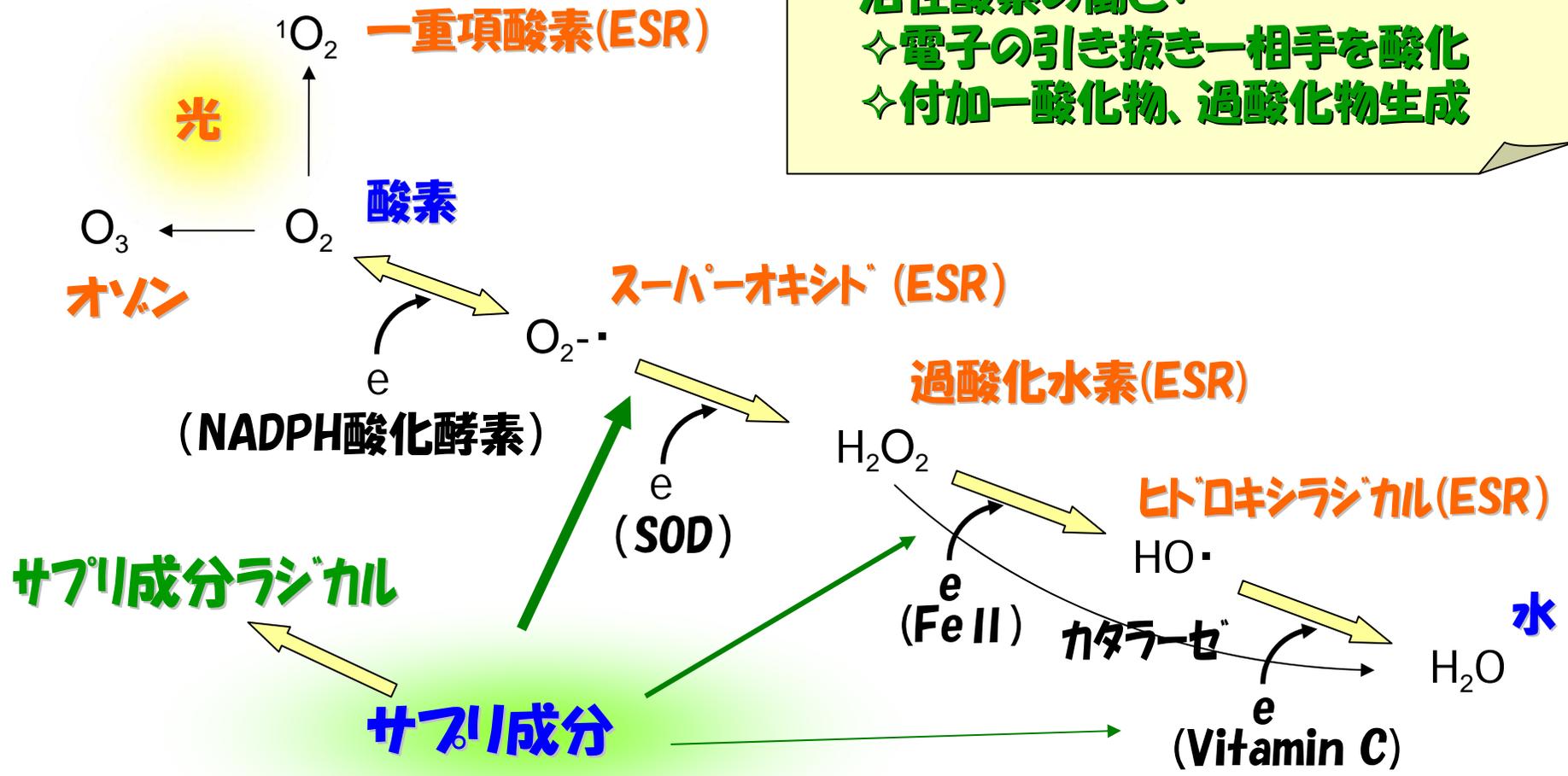
3 ラジカルとは？

例) 水分子($H_2O \rightleftharpoons HO\cdot + H\cdot$)

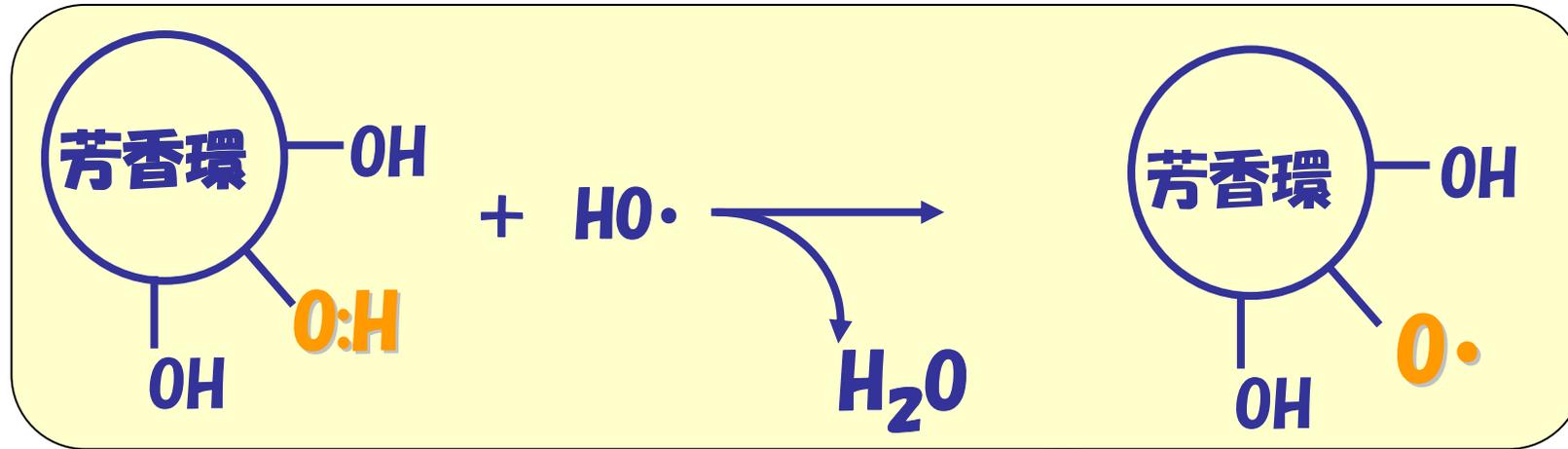


ラジカル1ー活性酸素

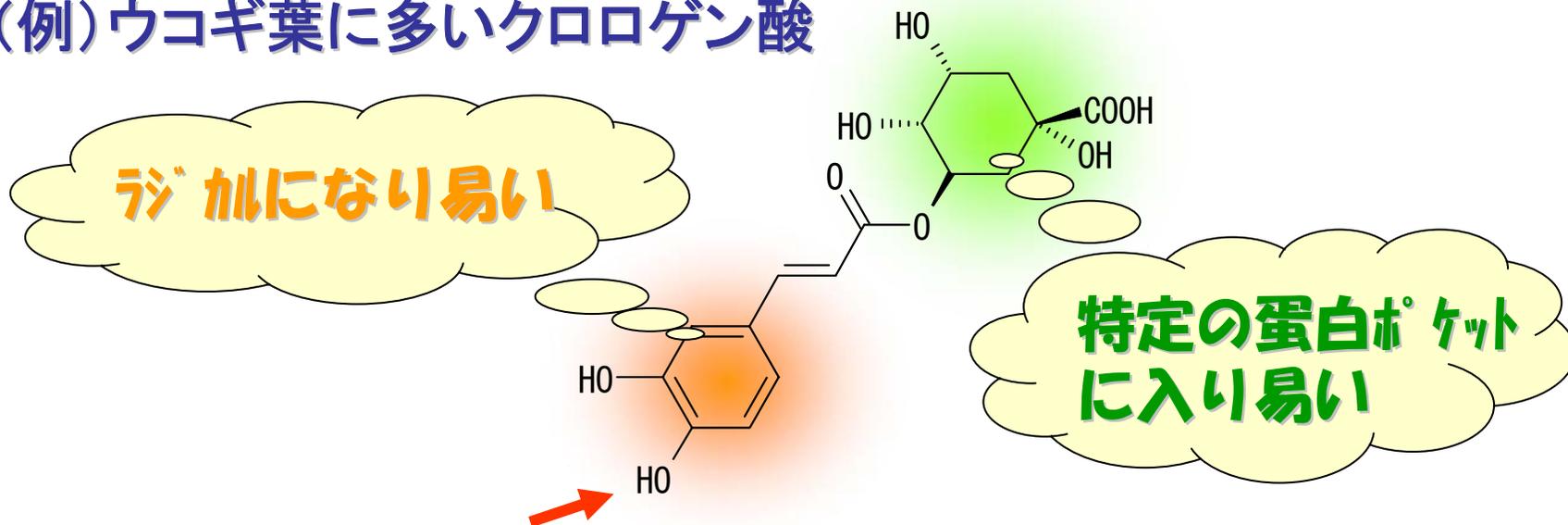
活性酸素の働き:
◇電子の引き抜きー相手を酸化
◇付加ー酸化物、過酸化物生成



ラジカル2 - 抗酸化物質 (サプリメント成分)

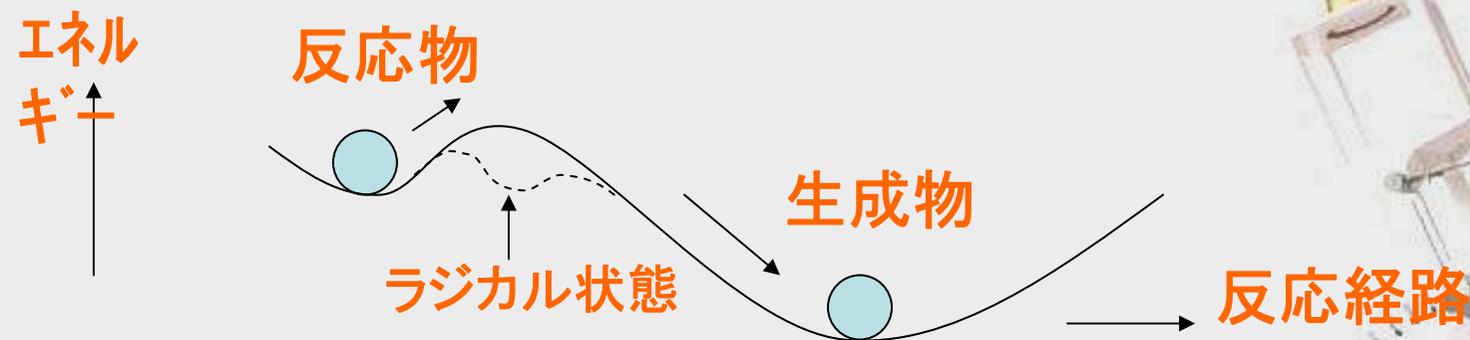


(例) ウコギ葉に多いクロロゲン酸



ラジカルの特徴（まとめ）

- ◆ラジカルとは不対(対を成さない)電子を持つ分子
- ◆生物ラジカルとは生体内に生成・消滅するラジカル
- ◆磁気を帯びる(+/磁石)ーESRで特異的に計測
- ◆ラジカルは反応中間体ー反応途中を示す
- ◆ESRで生体内機能が測れる



4 抗酸化物質（サプリ）とは

4-1 ☆☆☆☆

— 二重盲検試験による臨床試験で有効性・安全性が確認されたもの —

- **イチョウ葉エキス**・フラボノイド、テルペン（ギンコライドB）
痴呆改善、下肢血流改善
 - **ビタミン類**（**マルチビタミン**）- A、B1、B2、B6、B12、ナイアシン、葉酸、ビオチン、パントテン酸、C、D、E、Kの13種
健康の維持増進、病気の予防の必須栄養素
 - **セントジョーンズワート**・ヒペリジン、ヒペルフォリン、フラボノイド
軽症、中程度のうつ病
 - **ニンニク**・アリイン、アリシン
高コレステロール血症、高血圧症、動脈硬化症の改善
 - **ノギリ椰子エキス** - β -シトステロール（代表的植物ステロール）？
前立腺肥大症の改善、予防
 - **エキナセア**・多糖類、糖タンパク、フラボノイド
風邪症候群、インフルエンザの症状緩和、改善
 - **グルコサミン**、**コンドロイチン**・多糖類
関節軟骨の修復
 - **ミネラル類** - Ca、Fe、P、Mg、Na、K、Cu、I、Mn、Se、Zn、Cr、Mo、Fの13種
健康の維持増進、病気の予防の必須栄養素
- 注) 下線は抗酸化機能を持つ成分。



4-2☆☆☆

臨床試験により有効性・安全性が検証されたサプリメント



ガルシニア



苦瓜(ゴーヤ)

注)
山形:消費量No. 1
白内障:
全国平均の1/4

- お茶(カテキン類)-ガンに対する予防効果
- ガルシニア(ヒドロキシエン酸)-脂肪の合成抑制
- ガンマ-リノレン酸-アトピー性皮膚炎の改善
- キチン・キトサン(多糖類)-LDLコレステロールの低下
- クランベリー(プロアントシアニジン)-尿路感染症の予防
- 桑の葉(デオキシジリマイシン)-糖尿病の改善・予防
- 高麗人参(ジンセノサイド)-疲労回復、虚弱体質の改善
- CoQ10-狭心症、心筋梗塞、心不全の改善・予防
- 紫蘇の実油(アルファリノレン酸)-アレルギー性疾患の改善
- 大豆(イソフラボン)-女性ホルモン様作用
- チェストツリー(フラボノイド等)-月経前緊張症、月経不順の改善
- 甜茶(ポリフェノール、ルブソシト)-花粉症、アレルギー症状の緩和
- トコトリエノール(ビタミンEの一種)-強力な抗酸化作用
- 苦瓜(チャランチン*、モモルデシン)-血糖値の低下
- バナバ(コロソリン酸)-糖尿病の改善と予防
- 松の樹皮エキス(ピクノジェノール)-抗酸化・抗炎症作用
- プロポリス(フラボノイド)-抗菌、抗ウイルス作用
- 紅麹(モナコリン)-高コレステロール血症の予防と改善
- マリアアザミ(フラボノリグナン)-肝障害の予防と改善
- メラトニン-時差ぼけの予防と改善
- メリロート(クマリン*)-むくみの改善
- 卵黄コリン(レシチン*)-老年痴呆の改善
- トマト(リコピン*)-前立腺ガンの予防と改善
- ほうれん草(ルテイン*)-網膜変性症の予防
- レッドクローバ(イソフラボン、クマリン*)-更年期障害の予防と改善

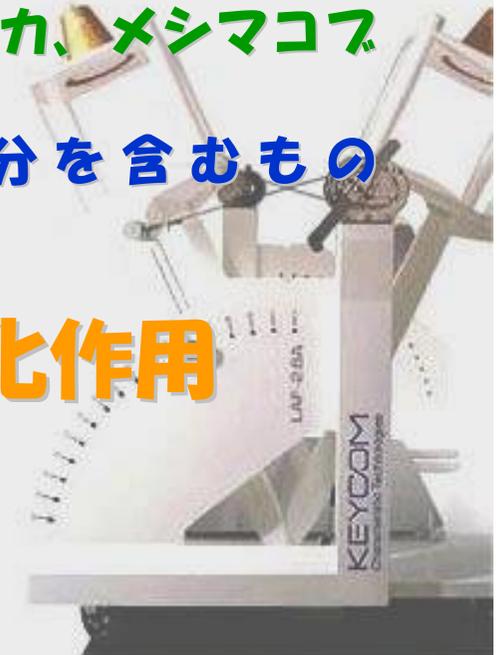
4-3 ☆☆

—基礎研究で有効性が検証されているもの—

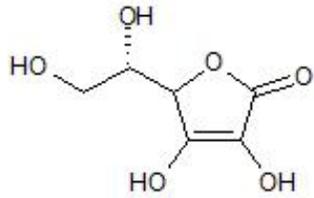
青汁、アガリクス、赤ワインエキス、アラビノキシラン、アロエ、EPA
インド人参(アシュワガンダ)、ウコン、エゾウコギ、エノキタケ、
エフェドラ、オリーブリーフ、ギムネマ、キャッツクロー、クエン酸、
クロレラ、コラーゲン、サメ軟骨、シャンピニオン、スピルリナ、
テアニン、DHA、田七人参、ナットウキナーゼ、ニコエン、ノニ、
発芽玄米、パイア、バラの花エキス、ヒアルロン酸、ビール酵母
フェラリア・ミリフィカ、ブルーベリー、マイタケ、マカ、メシマコフ

注) 下線は抗酸化作用、抗炎症作用を示す成分を含むもの

これらのサプリーの約半数は抗酸化作用
の効能あり!

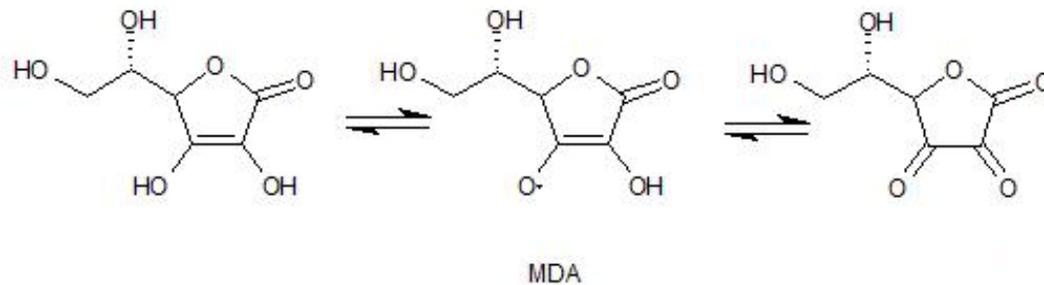


サブリの例: ビタミンC とは



Molecular Weight = 176.13
Exact Mass = 176
Molecular Formula = C₆H₈O₆
Molecular Composition = C 40.92% H 4.58% O 54.50%

図1 ビタミンC(アスコルビン酸)とMDA(アスコルビン酸ラジカル)およびDAA(酸化型ビタミンC)。これらは溶液中で平衡している。



MDA

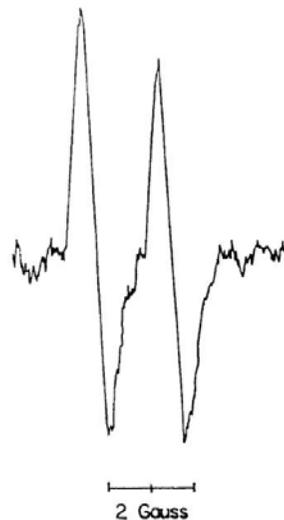
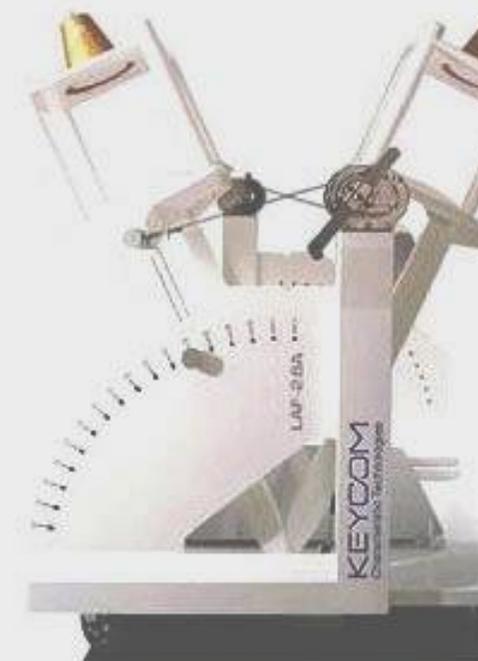


図2 MDA(アスコルビン酸ラジカル)のESRスペクトル。C₆H₈O₆からなる分子骨格のうち、1個の4位水素のみが不対電子と作用して、特有の2本線のスペクトルを示す($g=2.0052$ 、 $aH=0.18$ mT)。カイワレやアオキの葉などそのままESRスペクトルを測ると、図2に示すような、ビタミンCラジカル特有の2本線が観測される。ヒトの全血でも同様の信号が現れ、その強度は健康度を表す指標になる。

(余談1 ビタミンC)

化学物質にはそれぞれ固有の歴史を持つ。ビタミンCはお馴染みの典型的なサプリで、霊長類はビタミンCを体内で生産できないため、絶えず補給を要する化合物(必須栄養素)である。当化合物の研究歴は古く、すでに1920年に、英国の科学者ドラモンドが還元性のある壊血病予防因子をビタミンCと呼ぶことを提案した。1933年に英国の化学者ハースによってビタミンCの構造が決定されてアスコルビン酸と命名された。1933年にはポーランドの化学者ライヒシュタインが有機合成によるビタミンCの合成に成功した。非常に安価に純品が手に入る化合物である。(続く)



5. ラジカル化エネルギー(RE) - 水素引き抜き反応

化合物AHの水素引き抜き反応(1)を考える。

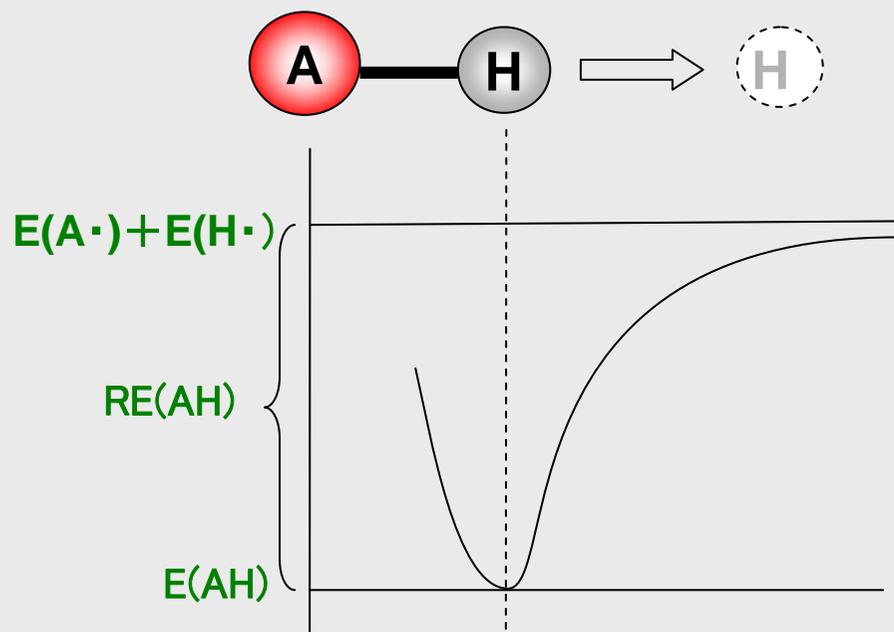


ここで、化合物AHの水素引き抜きに必要なエネルギー

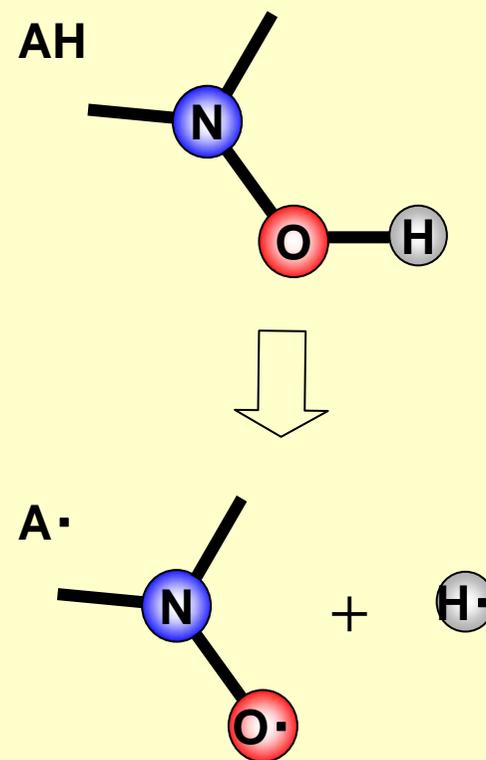
$$E(A\cdot) + E(H\cdot) - E(AH) = RE(AH) \quad (2)$$

をラジカル化エネルギー(Radicalization Energy: RE)と定義する。

式(2)の化学種 A \cdot 、H \cdot 、および AH のエネルギーを分子軌道法(MO)で計算してRE(AH)を求める。



水素引き抜き反応例



6. 分子軌道法による抗酸化物質 (AH) とラジカル (A·) の計算

量子化学計算の必要性、特にバイオインフォマティクス、ファインケミカルにおいて量子化学計算が必要とされる場面が増加。例えば、

- 1 生体分子の電子状態を知る → 反応, 相互作用, 性質
- 2 IR, Raman, UV, NMR, ESR, など, 各種スペクトルの帰属
- 3 力場パラメータを作成 → 蛋白・遺伝子における反応中心の探索, 絞込み
- 4 Ligand (反応物質) の構造と反応過程
- 5 等々

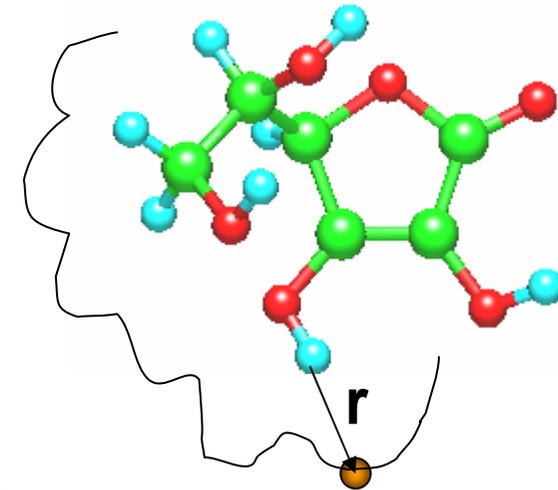
以下、 $RE(AH)$ を求めるにあたって、

$$RE(AH) = E(A\cdot) + E(H\cdot) - E(AH) = E(A\cdot) - E(AH) + 52.102 \text{Kcal} \quad (2')$$

分子軌道法を用いた抗酸化物質 (AH) とラジカル (A·) のエネルギー計算を紹介



1) Schroedinger Eq. 電子の波の性質を表す。



電子の密度
 $\Psi^2(r)$

$$\text{Kinetic Energy} + \text{Potential Energy} = E$$

Classical
Conservation of Energy
Newton's Laws

$$\frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2 = E$$

Harmonic oscillator example.

$$F = ma = -kx$$

Quantum
Conservation of Energy
Schrodinger Equation

The energy becomes the Hamiltonian operator

Wavefunction

Energy "eigenvalue" for the system.

The form of the Hamiltonian operator for a quantum harmonic oscillator.

$$H\Psi = E\Psi$$

$p \rightarrow \frac{\hbar}{i} \frac{\partial}{\partial x}$
 $x \rightarrow x$
 $H \rightarrow \frac{-\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{1}{2}kx^2$

$\frac{p^2}{2m} + \frac{1}{2}kx^2$

In making the transition to a wave equation, physical variables take the form of "operators".

2) 分子軌道法とは

$H\Psi = E\Psi$ の波動関数 Ψ を近似的に分子軌道

$$\phi_j = \sum a_i \chi_i$$

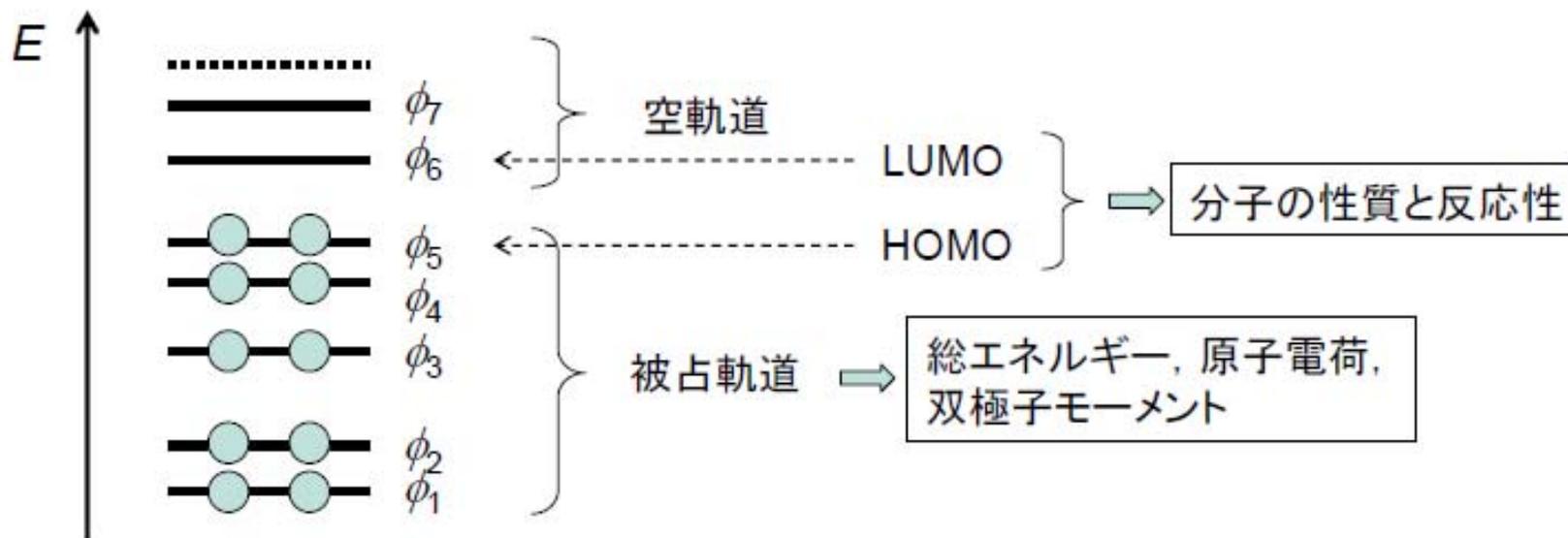
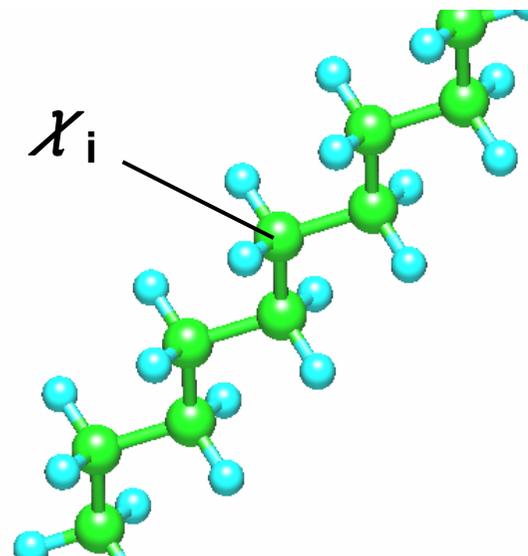
であらわす。これを**分子軌道法**という。ここで

χ_i : 分子を構成する原子の原子軌道

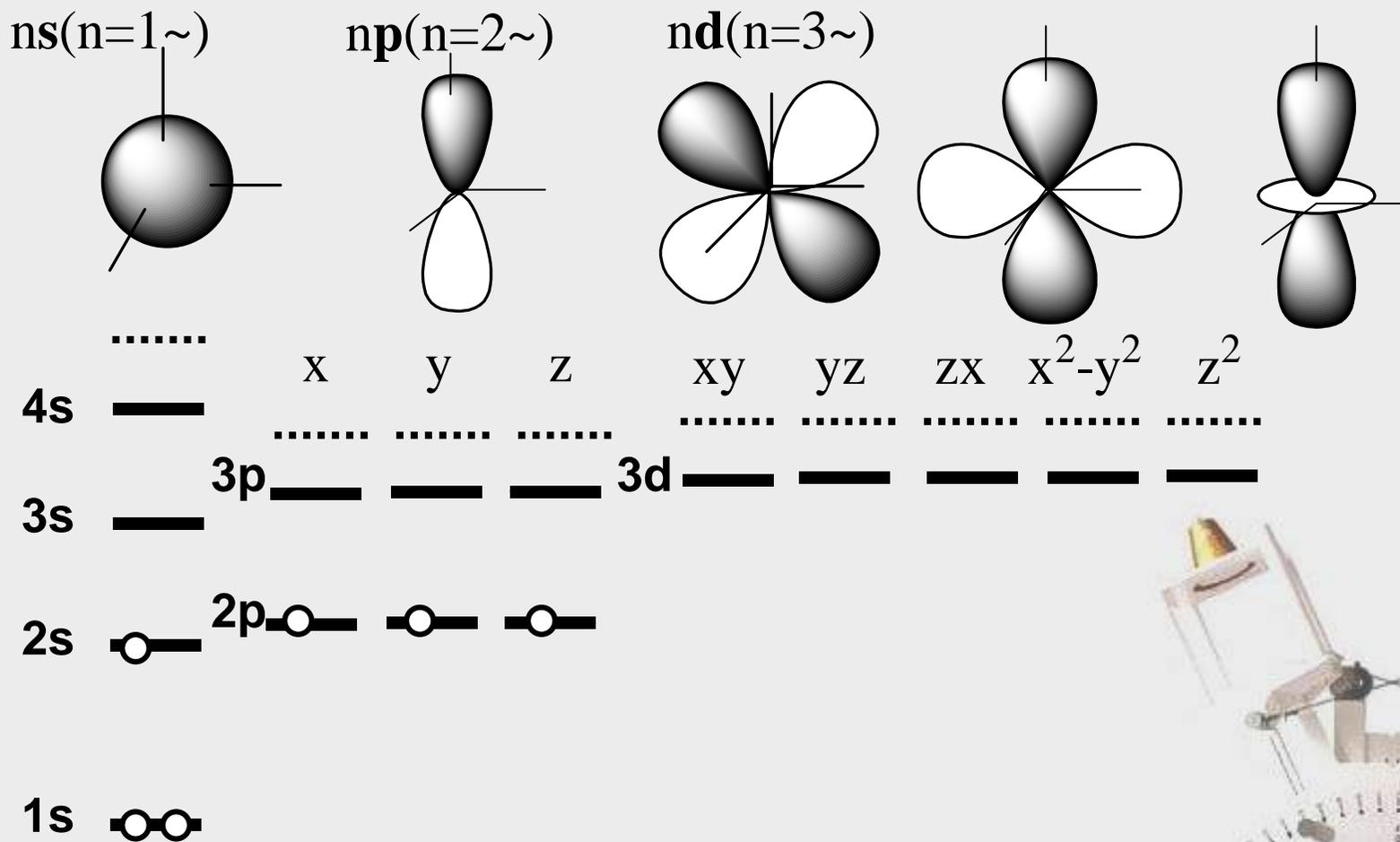
a_i : χ_i が ϕ_j に寄与する割合を表す。

この方程式を近似的に解くと、

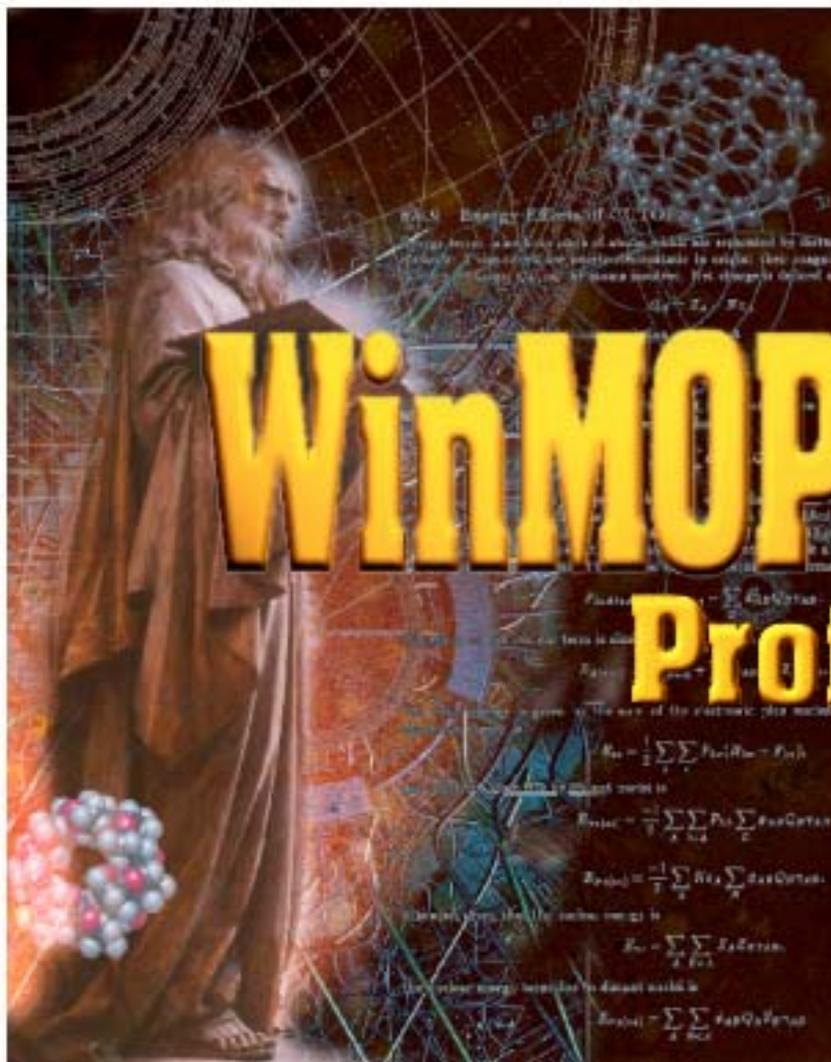
(E_i, ϕ_i) という無限個の解が得られる。



3) 原子軌道: χ_i



(注) 実際の計算では寄与の大きい原子軌道をピックアップする。
 (例) 水素: $1s$ 、炭素: $2s$ 、 $2p_x$ 、 $2p_y$ 、 $2p_z$ 、など...



FUJITSU

WinMOPAC 3.5 Professional

winmopac@strad.ssg.fujitsu.com

All Rights Reserved,
Copyright © FUJITSU Limited
1997-2002

**(注)現在では、他のプログラムと統合して
Scigress Explorerとして市販されている。**



Edit Z-matrix [X]

Program/Keyword/Comment | Z-Matrix

Program
 MOPAC2002
 MOS-F

Coordinate
 Z-Matrix
 Z-Matrix (Symbolic)
 Cartesian

Name: [Folder icon]

Keywords:

Calculation Types: [Dropdown]

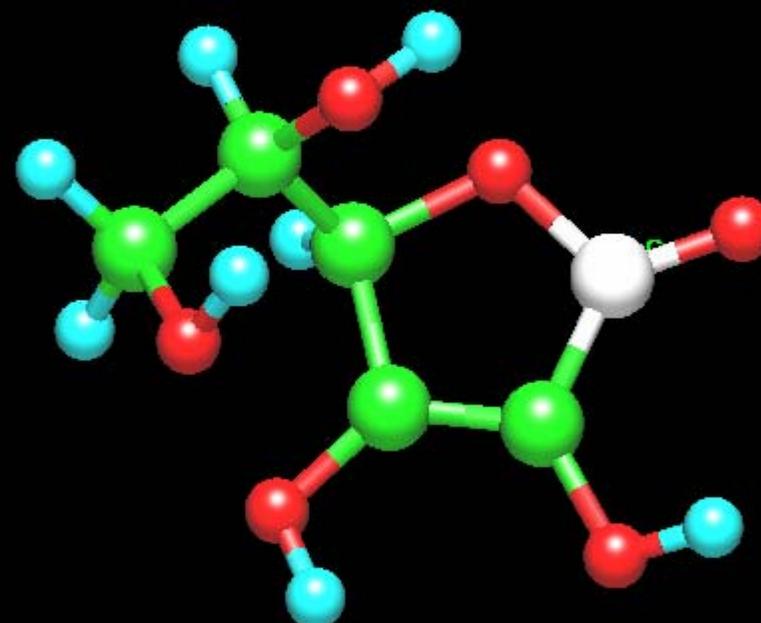
Methods: [Dropdown] Precise 1SCF

Charge: [Dropdown] Vectors Bond Order

MOZYME (Large Molecule)

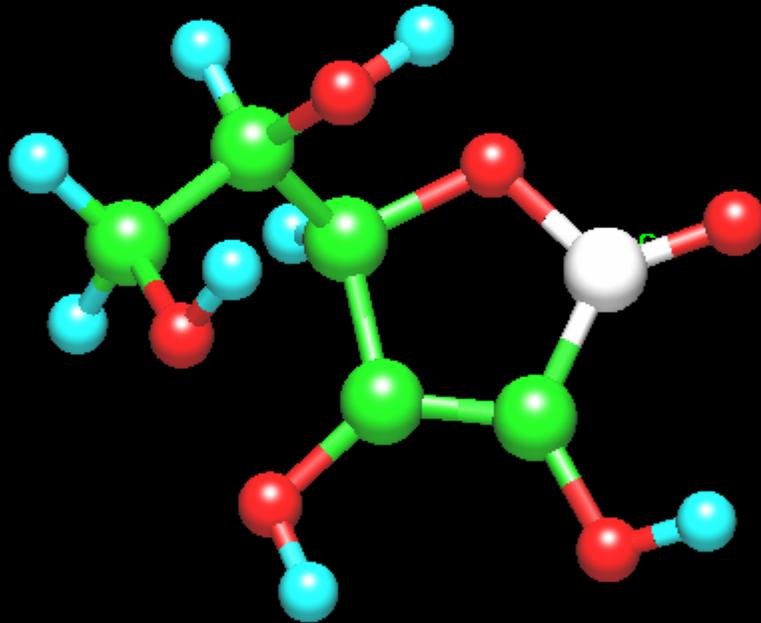
Comments: [Text area]

OK キャンセル 適用(A)



Edit Properties Calculation Background View Help

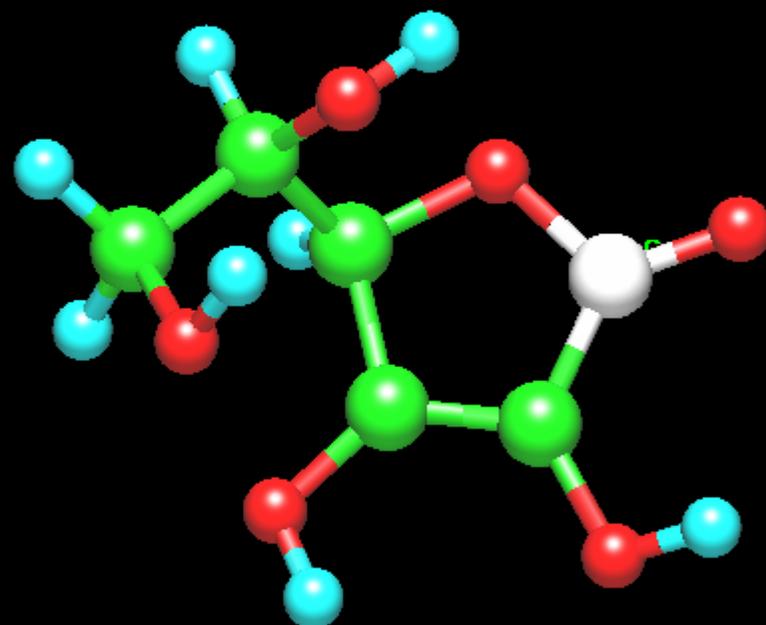
Start
Pause
Restart
Abort
Setup
Start(Dos prompt)

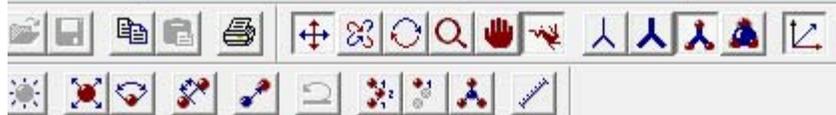


The image shows a software interface for molecular simulation. The top menu bar includes 'Edit', 'Properties', 'Calculation', 'Background', 'View', and 'Help'. Below the menu bar is a toolbar with icons for file operations and simulation controls. A 'Calculation' menu is open, showing options: 'Start' (highlighted with a yellow arrow), 'Pause', 'Restart', 'Abort', 'Setup', and 'Start(Dos prompt)'. The main window displays a 3D ball-and-stick model of a complex organic molecule. The molecule features a central ring structure with several substituents. The atoms are color-coded: green for carbon, red for oxygen, cyan for nitrogen, and white for sulfur. The bonds are shown as sticks connecting the spheres.



- Outlist
- Comment
- Atom Type
- Energy
- Gradient Norm
- Force
- Results of Tomasi model
- Energy Partition
- Dipole moment
- Polarizability(MOPAC)
- Polarizability(MOS-F) ▶
- Atomic charges (Ground State) ▶
- Atomic charges (MOPAC ESP) ▶
- Bond order
- PMEP
- Electrostatic Potent 
- Molecular orbital
- Density (Ground State)
- Normal mode
- Reaction
- Excited states
- Add to CSV





Select MO

Total number of Molecular Orbitals 56

HOMO(Alpha) 34		HOMO(Beta)		Mix MO's	
41	2.7521	41A			
40	2.5629	40A			
39	2.3020	39A			
38	1.7760	38A			
37	1.4496	37A			
36	1.4153	36A			
35	-0.4534	35A			
34	-9.5889	34A			
33	11.2616	33A			

Select MO

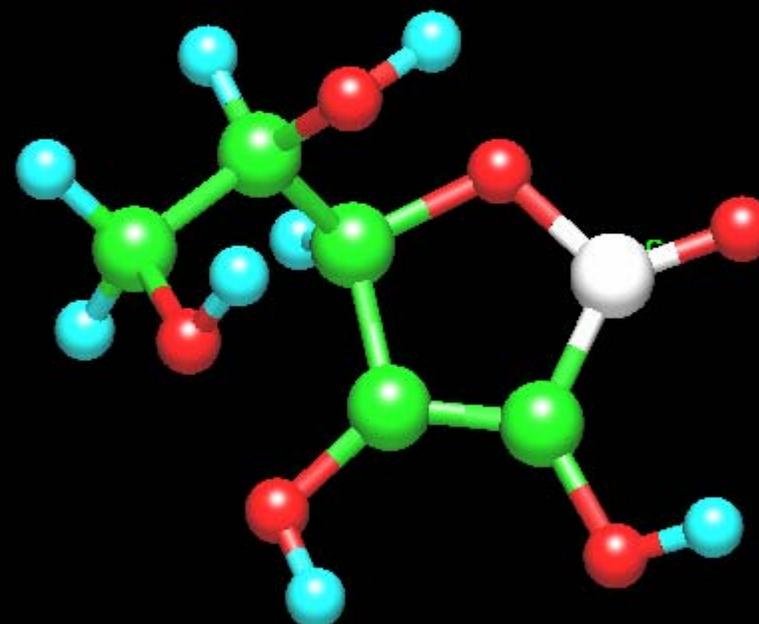
Alpha Beta Number of MO 34 Phase 1.0000

Set grid information

Size 0.6 Constant 0.03 Smoothing Use Calculated grid data

OK Cancel Apply

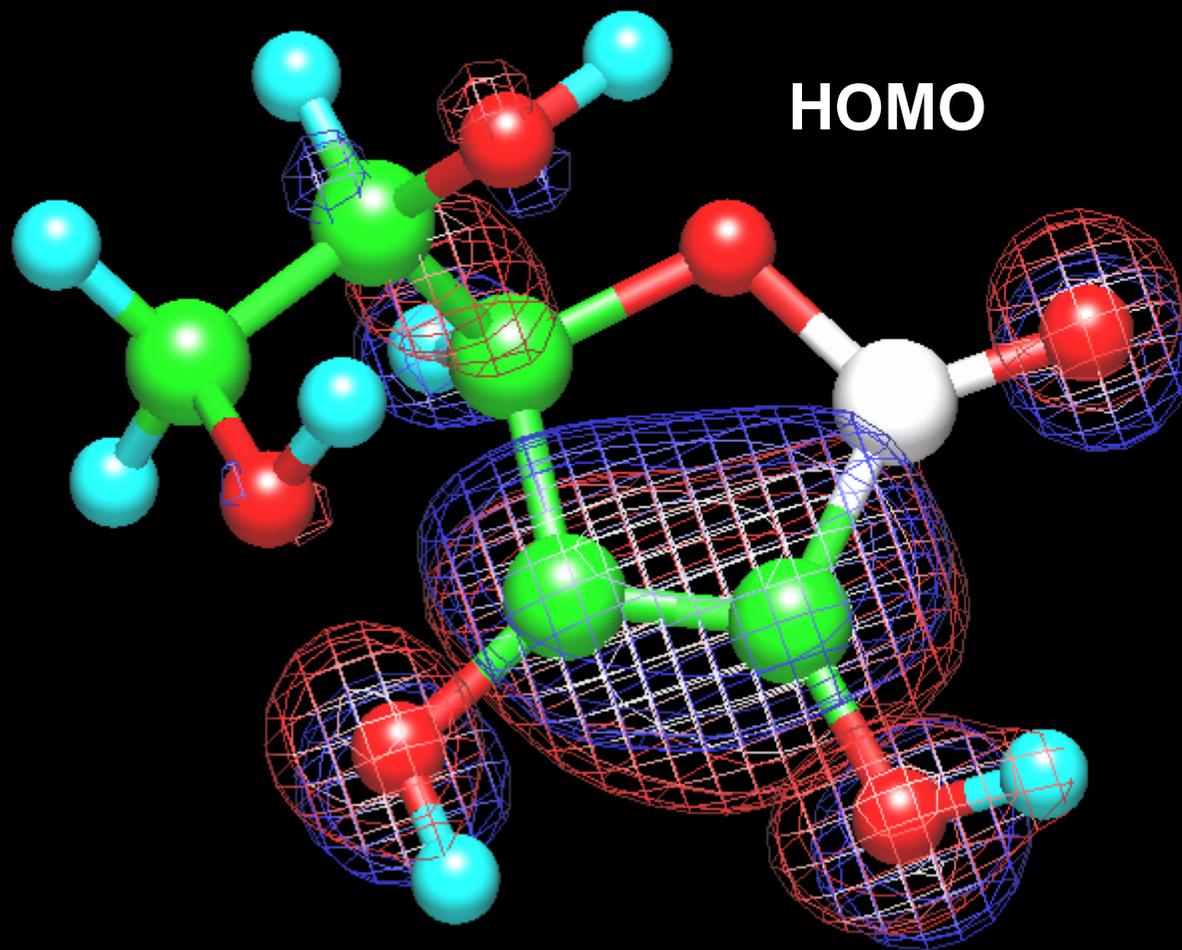
LUMO
HOMO





Molecular orbital 34(Alpha) -9.5889 ev 34A

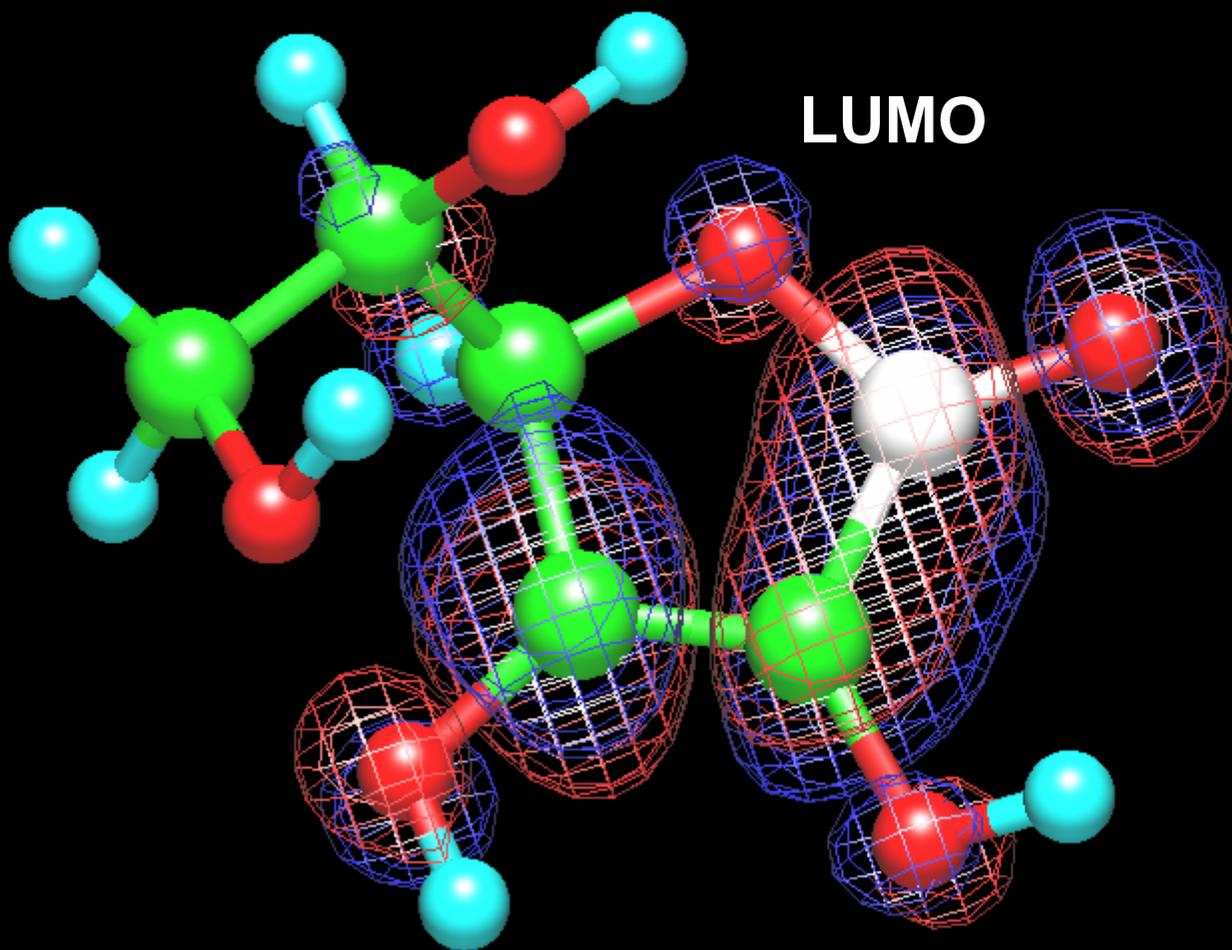
HOMO





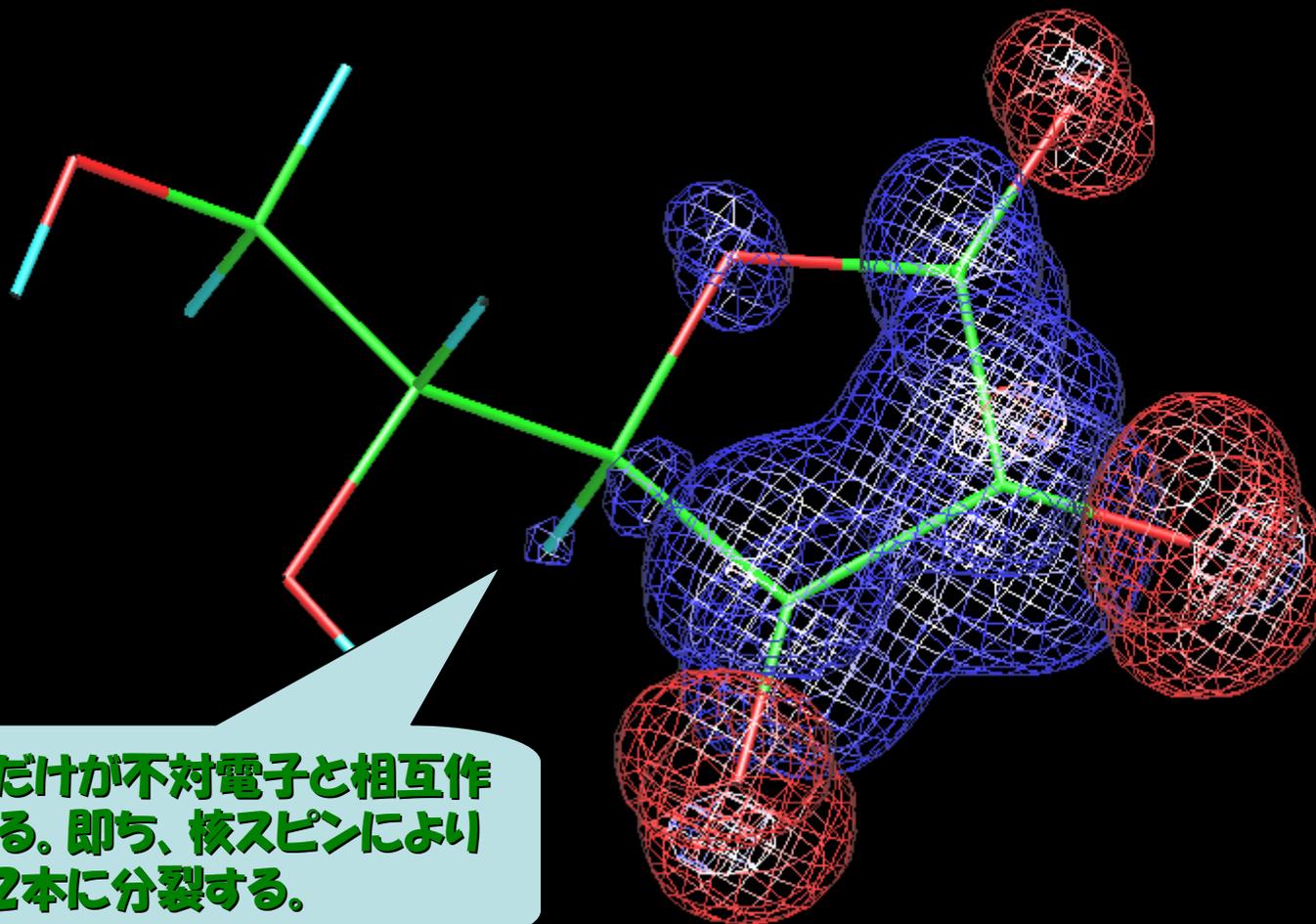
Molecular orbital 35(Alpha) -0.4534 ev 35A

LUMO





Vitamin C Radicalの不对電子分布



この水素だけが不对電子と相互作用している。即ち、核スピンにより2本に分裂する。

実演！ Calculations of Benzene or Vitamin C Radical

スタートより開始！

このようにしてRE(AH):

$$E(A\cdot) + E(H\cdot) - E(AH) = RE(AH)$$

を計算。EXCELへ！

【余談】1962年（私が4回生の時）

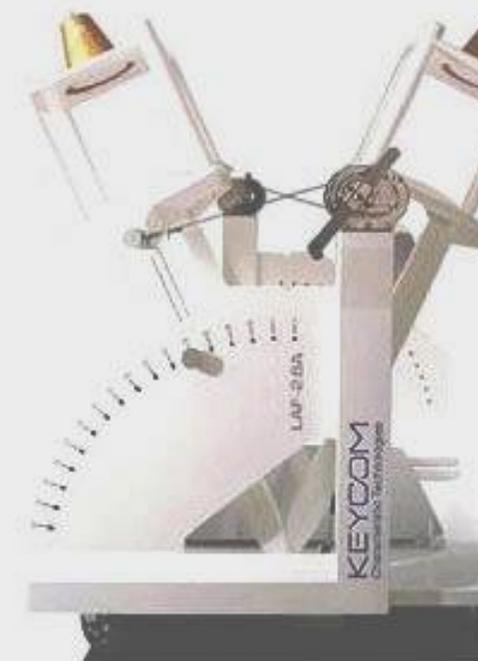
KDC1(京大での大型コンピューター号機)

によるベンゼンの計算:

データ: テレタイプによるデータテープ作成、

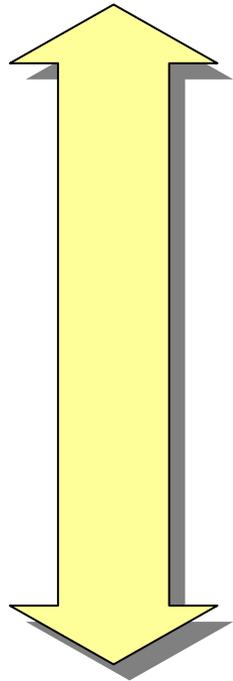
入力方法: テープリーダー

計算時間: ベンゼン 15分

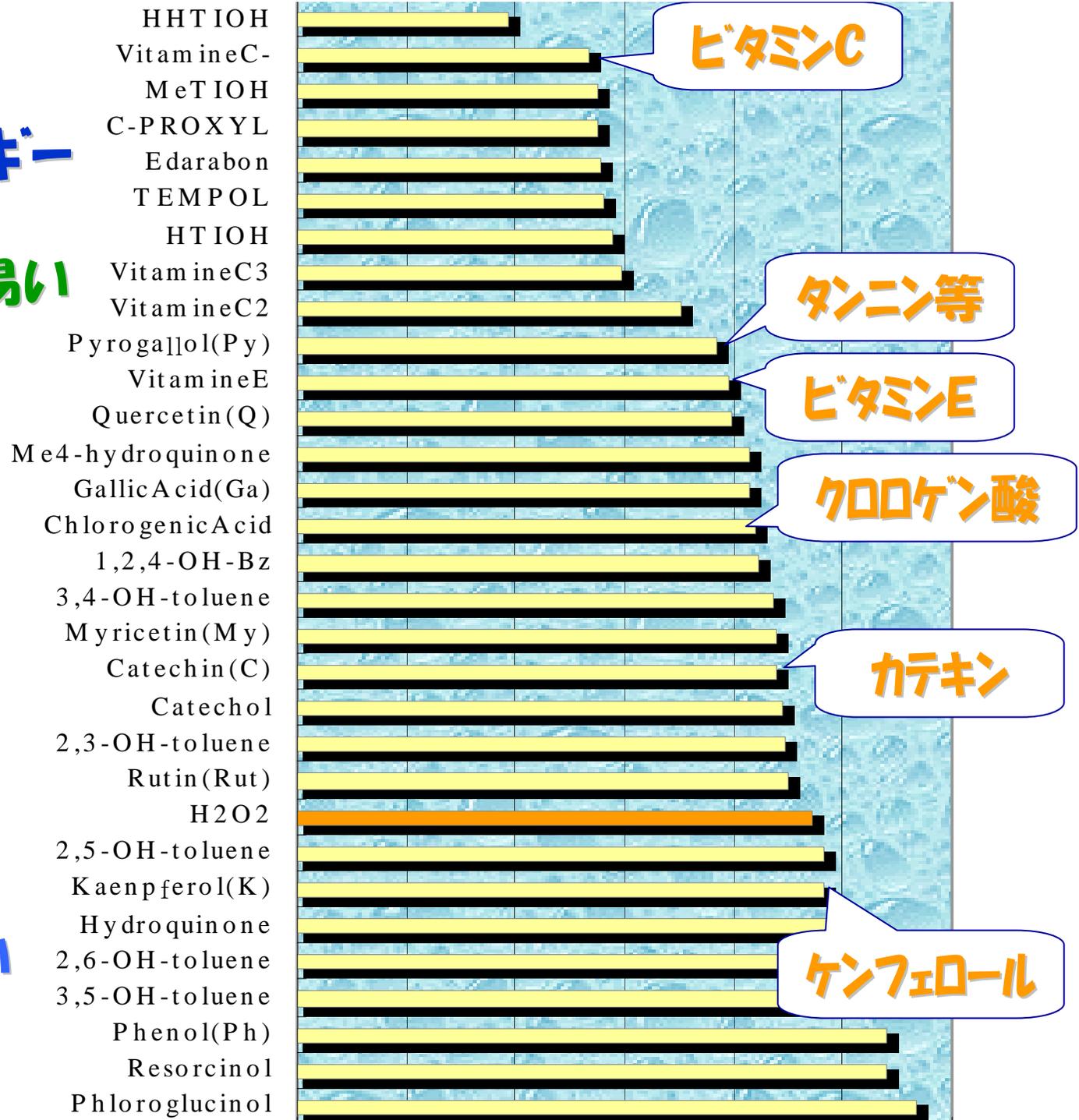


サプリ成分のラジカル化エネルギー

ラジカルに成り易い
抗酸化能大



ラジカルに成り難い
抗酸化能小



RE図の解釈:

1. H_2O のRE(約112Kcal)が最も大きく、 H_2O の水素引抜きでできる $HO\cdot$ は近くの物質から無差別に水素引抜することを示す。
2. H_2O のすぐ上にある H_2 のREは109Kcalで約3Kcal少ない。これは水素ガスで OH ラジカルを消去できることを物語る。

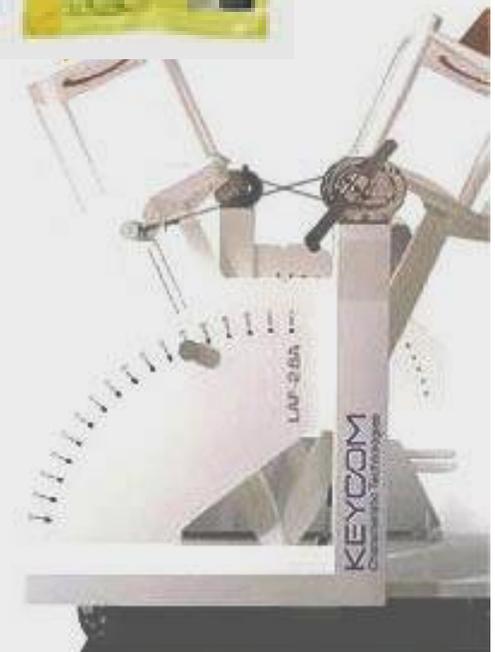


3. C 中心ラジカルは特に構造最適化が激しくREが低くなる(e.g. BDPA、TPM、アスタキサンチン)。
4. リコピンやアスタキサンチンなどのカロテノイドのREが小さく抗酸化能の高さを物語る。
5. スピン試薬は上位に位置し、VitamineC-と拮抗する。
6. H_2O_2 ($\rightleftharpoons HO_2\cdot$ (スーパーオキシド))より上位の化合物は $HO_2\cdot$ により水素引抜きが起りラジカル化される(抗酸化物質)。下位にフェノール類および孤立 OH 基を持つ化合物群があるが、これらはラジカル化されない。



ビタミンCの重要性

ビタミンCのラジカル化エネルギー(RE: 65 Kcal)はビタミンEのそれ(RE: 73 Kcal) と比べて8 Kcalも小さい。即ち、ビタミンEが活性酸素との反応によりラジカル化していてもビタミンCが近づくとビタミンEが元の状態に戻り、ビタミンCがラジカル化する。言い換えれば、活性酸素による生体の損傷がビタミンCにより修復されたことを意味する。この修復能は大抵の生体物質に当てはまり、**ビタミンCは生体内での修復屋の役割を果たす。**



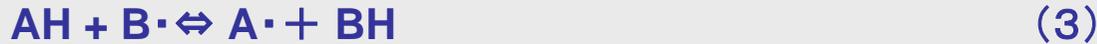
(余談2)

米国のノーベル賞学者、ポーリング博士は世界で一番最初に「ビタミン大量摂取」を唱えた科学者で、毎日ビタミンCを18g摂取していた。これは一般的に言われているビタミンCの「大量摂取推奨量」が、1日1グラム(1000mg)であることを考えると、その18倍もの、恐るべき分量であることがわかる。1966年にポーリングは生化学者のアーウィン・ストーンから高用量ビタミンCの概念を知り、風邪の予防のために毎日数グラムのビタミンを摂り始めた。その効果に興奮したポーリングは臨床文献を調査し、1970年に「ビタミンCと感冒」を発表した。人や霊長類などごく一部の生物種はビタミンCを自分で合成できず、食餌からとる必要がある。そこでポーリング博士は、動物たちがどれくらいのビタミンCを合成するのか、その合成量を調べた。そして、自分の年齢、身長、体重等に基づいて1日18gを食事からとる必要があると推定した。1994年に93歳で他界するまで、自らの推論を自ら実践したのである。しかし死因は前立腺がんであった。



8. ESR測定法をもっと有効に！

抗酸化物質(AH)とO₂·⁻やHO·などの活性酸素(B·)間でのラジカル移動は一般に次の水素移動反応で表される。



(3)における各化合物のHOFをE(X)で表すと(3)のエネルギー式は

$$E(AH) + E(B\cdot) = E(A\cdot) + E(BH) + \Delta(\text{熱}) \quad (4)$$

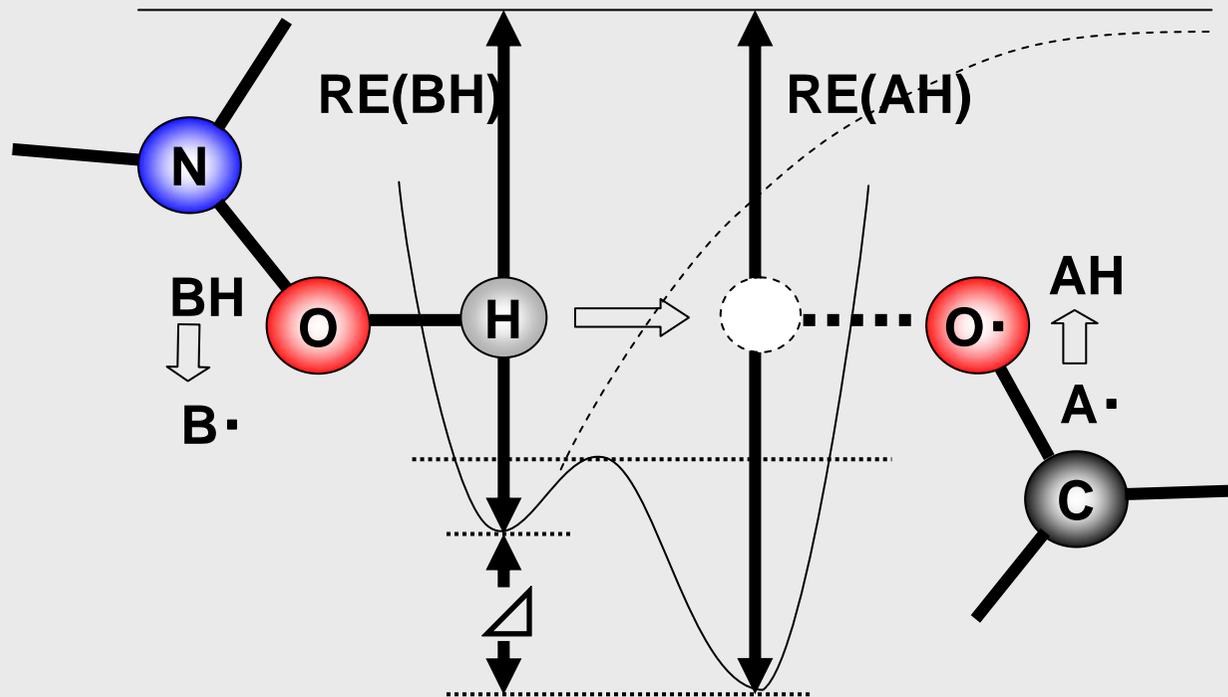
となる。これを書き換えると：

$$\{E(A\cdot) - E(AH)\} + \Delta(\text{熱}) = \{E(B\cdot) - E(BH)\} \quad (5)$$

で表される。(5)式はラジカル移動反応のエネルギー変化を表す。両辺にE(H·)を加えると、

$$RE(AH) + \Delta(\text{熱}) = RE(BH) \quad (\Delta(\text{熱}) = RE(BH) - RE(AH)) \quad (6)$$

$\Delta > 0$: 反応が起こる。 $\Delta < 0$: 反応が起こらない。



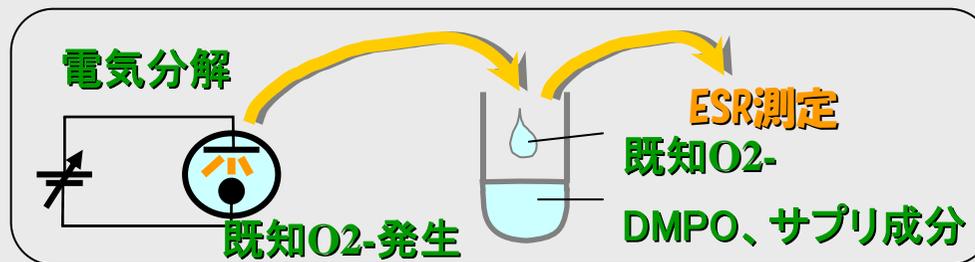
例1 サプリ成分のSOD様活性評価法

スピン試薬

DMPO

アダクト(ラジカル測定)

既知O₂⁻-発生



サプリ成分
(SOD)

生成物

評価手順:

ブランク時のESR信号を基準とし、サプリを添加して競争反応後のアダクト量を計測してサプリの抗酸化能を評価

日常食品の抗酸化能 (SOD*様活性) (SOD単位 : U/g (ml))

香辛料: クローブ(30452)、タイム(10688)、ローズマリー(8896)、スイートバジル(5230)
セージ(4680)、カレー粉(638)

飲料: 玉露(8434)、抹茶(2089)、赤ワインs(1010)、紅茶(859)、煎茶(809)、
ほうじ茶(643)、コーヒー(421)、山葡萄(412)、どくだみ茶(82)

根菜類: レンコン(1980)、しょうが(188)、人参(23)

果菜類: あけび果皮(1454)、ナス皮(768)、かぼちゃ(60.7)、きゅうり(48)、
ピーマン(44)

果実類: ざくろ果汁(698)、ブルーベリー(502)、ラズベリー(149)、レモン(75)
グレープフルーツ(71)、ブドウ(<15)

葉菜類: ウコギ(1500)、春菊(1074)、シソ(785)、ほうれん草(442)、ブロッコリ(362)
パセリ(373)、セイサイ(319)、赤キャベツ(123)、レタス(95)、ニラ(30)

その他: 韃靼そば粉(熱水)(300)、しいたけ(82.2)、干しいたけ(1508)

*SOD: スーパーオキシド(SO)を酸素と過酸化水素に不均化する酵素で生体内に遍く存在。カタラーゼと協力して活性酸素の無害化に寄与。SODの抗酸化能は最も高い。標準物質として最適。

代表的な漢方薬の抗酸化能 (単位：U/g (ml))

生薬名	機能	SOD様活性
生大黄	抗老化	1.2E+05
丹参	抗炎症、抗癌	1.1E+05
银杏の葉	血流改善	9.4E+03
当归	抗老化、血流改善	1.6E+03
黒大豆	血流改善	1.0E+03

1.2×10^5
=120000
以下同様

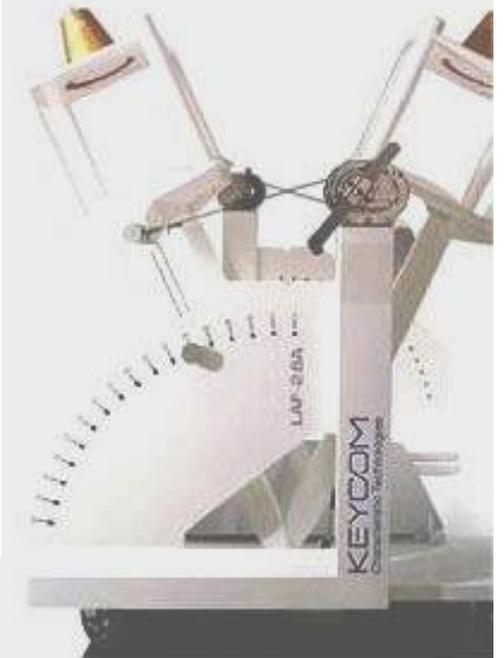
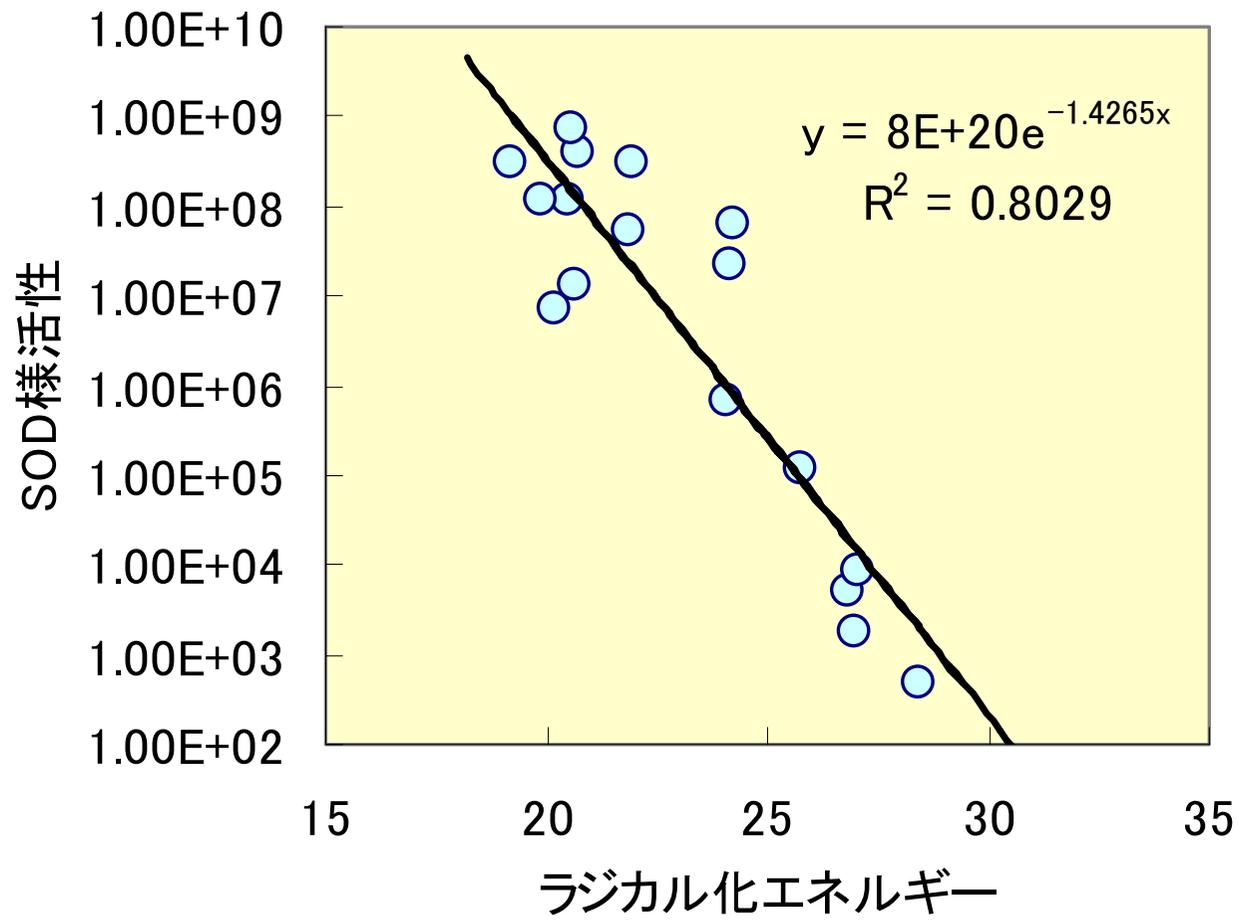
☆現在60種以上！今後、データベース化し、公開！

代表的なサブリ成分の抗酸化能

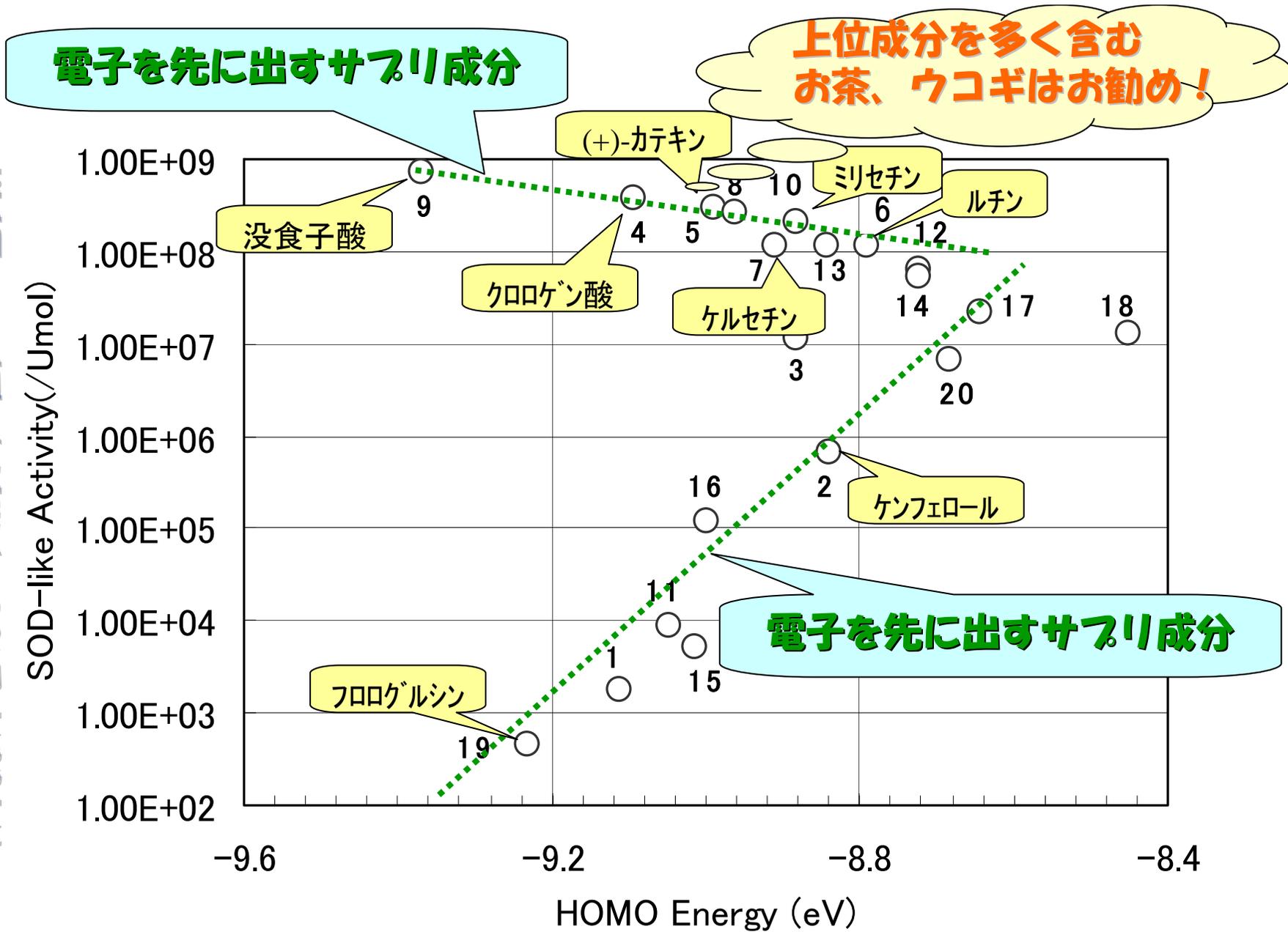
サブリ成分名	英語名 (Mol. Wt.)	番号	SOD様活性 (/U·mol)	SOD様活性 (/U·g)	効能など
没食子酸	Gallic Acid (170.12)	9	7.40E+08	4.35E+06	タンニン構成成分、
クロロゲン酸	Chlorogenic Acid(354.31)	4	3.88E+08	1.10E+06	抗酸化作用、肝機能改善、ウコギに多い。渋味成分
カテキン	(+)-Catechin (290.27)	5	3.10E+08	1.07E+06	お茶ポリフェノールの成分
ミリセチン	Myricetin (318.24)	10	2.10E+08	6.60E+05	イチョウエキス有効成分
ケルセチン	Quercetin (302.24)	7	1.20E+08	3.97E+05	イチョウエキス有効成分、
ルチン	Rutin (610.52)	6	1.20E+08	1.96E+05	ウコギ成分、
ケンフェロール	Kaempferol (286.24)	2	6.90E+05	2.41E+03	イチョウエキス有効成分、
フェノール	Phenol (78)	1	1.80E+03	2.3E+01	石炭酸
フロログルシン	Phloroglucin (126)	19	4.80E+02	3.8	木質に含まれる成分



SOD様活性とREの相関



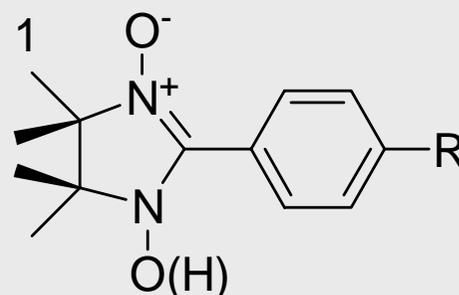
評価した値 (上ほどSOD消費能大)



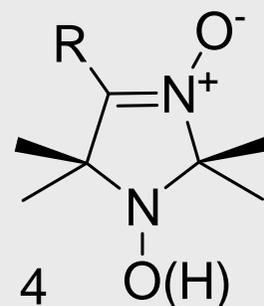
サブリ成分の電子供与能 (右ほど電子を出し易い)

まとめ

- 1) REはラジカルの安定性を示す良い指標になる。
- 2) REはラジカル移動反応および反応速度を予測する指標になる。
- 3) DPPHはサフリや抗酸化性物質の評価に使用されているが最適とはいえない。
- 4) PTIO、HTIOなどはREが他の化合物より小さいため、ラジカル化が起こり易い。検体内ラジカルの総量を評価するのに適した試薬である。



R=H: PTIO, R=COOH: c-PTIO



R=H: HTIO
R=Me: MeTIO
R=NH₂N=CH-: HHTIO

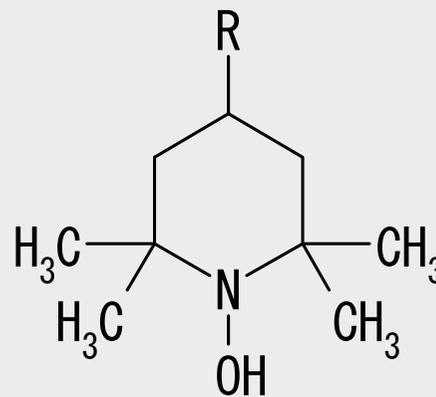
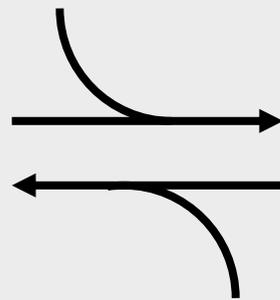
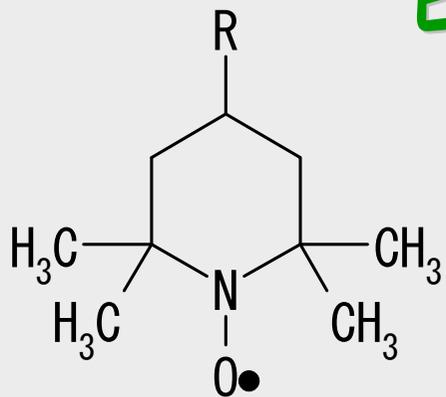
Magnetic Resonance Force Microscopy

IBM Research Division
Almaden Research Center

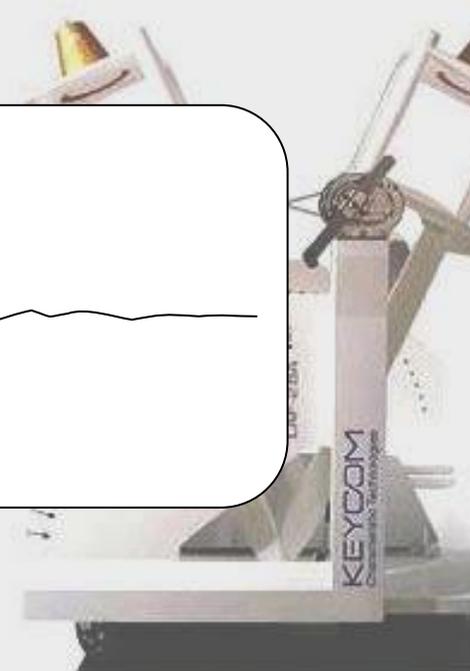
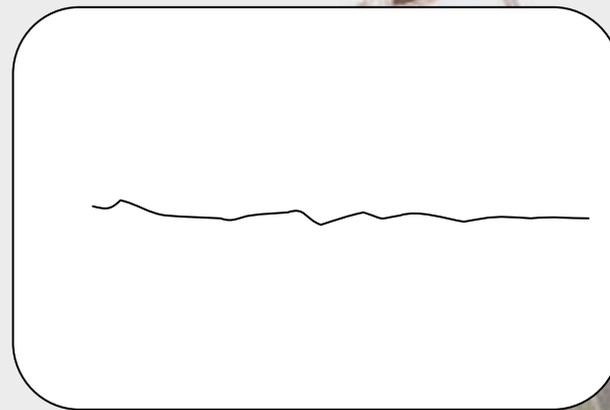
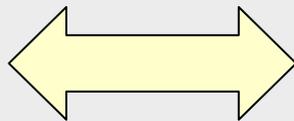
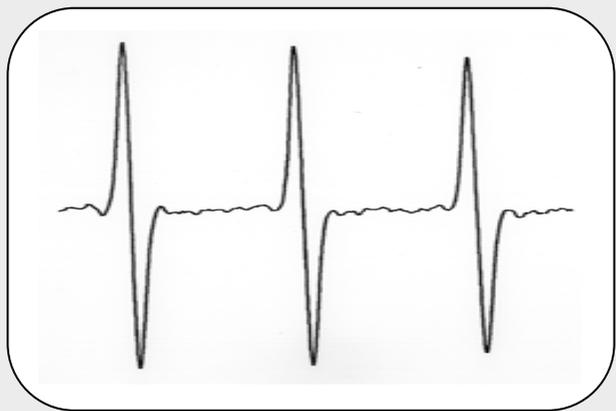


スピ試験薬

ビタミンC、GSH、等



活性酸素



HPLCによる成分分析の例ーヒメコギ葉の水抽出液

質量分析計、NMRにより成分を同定

